



Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски"

Миннотехнологичен факултет

Катедра „Открито разработване на полезни изкопаеми и взривни работи ”

Ас. маг. инж. Даниел Пламенов Георгиев

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

На дисертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор”,

**Професионално направление 5.8. Проучване, добив и обработка на
полезните изкопаеми,**

Научна специалност „Открит и подводен добив на полезни изкопаеми”

**Управление на качеството на продукцията с цел осигуряване
на постоянен еднороден поток за обогатителна фабрика
"Перник" (на примера на откритите рудници „Република“ и
„Открит Рудник Обединен“)**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Ивайло Копрев

София, 2017

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Открито разработване на полезни изкопаеми и взривни работи“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София.

Пълният обем на дисертацията е 122 страници в IV глави, 20 фигури и 4 таблици. Използваната литература обхваща 124 заглавия на кирилица и латиница. Дисертацията се състои от въведение, четири глави обхващащи: литературен обзор, актуалност, цели и задачи на дисертационния труд, сведения за обектите на изследване, изследване и анализ на системата за управление на качество в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“, създаване на алгоритъм за оценка и управление на качеството на базата на линейното оптимизиране, общи изводи и заключения, научно-приложни приноси, списък литературни източници, списък с публикациите по темата на дисертацията и три приложения.

Фигурите и таблиците в текста на автореферата следват оригиналната номерация от текста на дисертацията.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред Научно жури, назначено от Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ на 12.07.2017 г. от 15:00 часа в зала № 220 “Марица Изток”, Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, гр. София на заседание на научното жури в състав:

1. Доц. д-р инж. Ивайло Георгиев Копрев - МГУ, катедра „ОРПИ и ВР“
2. Доц. д-р инж. Евгения Иванова Александров - МГУ, катедра „ОРПИ и ВР“
3. Проф. д-р инж. Георги Петров Константинов – експерт, външен член
4. Проф. д-р инж. Стефан Петров Трендафилов - експерт, външен член
5. Проф. д-р инж. Румен Дончев Недков - Институт по Космически изследвания и технологии на БАН, външен член

Резервни членове:

1. Доц. д-р инж. Илиян Димитров Джобов – МГУ, катедра „ОРПИ и ВР“
2. Проф. д-р инж. Паулин Георгиев Златанов – експерт, външен член

Автор: ас. маг. инж. Даниел Пламенов Георгиев

Заглавие: Управление на качеството на продукцията с цел осигуряване на постоянен еднороден поток за обогатителна фабрика "Перник" (на примера на откритите рудници „Република“ и „Открит Рудник Обединен“)

Научен ръководител: доц. д-р инж. Ивайло Георгиев Копрев

Материалите във връзка с предстоящата защита са на разположение на заинтересованите лица в сектор „Следдипломна квалификация“.

Съдържание на автореферата на дисертационния труд:	Стр.
I. Въведение и обща характеристика на дисертационния труд	4
II. Анализ на състоянието на проблема. Изводи от литературния обзор	6
III. Цел и задачи на дисертационния труд	7
IV. Сведения за обектите на изследване - рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“	7
IV.1. Кратки общи и геоложки данни за района, находището и тектониката на масива	7
IV.2. Характеристика на полезното изкопаемо. Хидроложки и хидрогеоложки условия	9
IV.3. Обобщени изводи	10
V. Изследване и анализ на системата за управление на качеството в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“	10
V.1. Осигуряване на качеството при подготовката на полезното изкопаемо за изземване в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“	10
V.2. Влияние на параметрите на елементите от системата за разработване върху качеството и загубите на полезното изкопаемо	11
V.3. Управление на качеството на продукцията от рудник „Република“ и рудник „Открит рудник – обединен“	13
V.4. Общи изводи	13
VI. Създаване на алгоритъм за оценка и управление на качеството на базата на линейното оптимизиране	14
VI.1. Оперативно планиране	15
VI.2. Статистически анализ на пепелното съдържание и влажността на въглищата	15
VI.3. Постановка на задачата	21
VI.3.1. Свойства на линейното оптимизиране	21
VI.3.2. Критерии за минимизация на максималното отклонение	22
VI.3.3. Решение на задачата за управление на качеството	23
VI.3.4. Изводи	29
VII. Основни изводи	30
VIII. Заключение	31
IX. Научно-приложни приноси	32
X. Публикации по дисертационния труд	32

I. Въведение и обща характеристика на дисертационния труд

В съвременната пазарна икономика качеството е основно конкурентно предимство на всяка организация.

В центъра на стратегията за управление на качеството трябва да стои насочеността към клиента, защото неговите изисквания са критериите за качество. В осигуряване на качеството на продуктите трябва да се включат всички звена и всички служители на организацията. Още един важен елемент в управлението на качеството е непрекъснатото усъвършенстване. Ако трябва да дадем определение на Управлението на качеството, то би изглеждало по следния начин: Управлението на качеството е целенасочено и планомерно въздействие върху дейностите на всички подразделения на предприятието, свързани с формирането, поддържането и повишаването на качеството с цел постигане на максимално задоволяване на изискванията на потребителите при възможно най-малки разходи.

Най – голямо влияние върху управлението на качеството на добиваното полезно изкопаемо оказват избраната система и технология на разработване на находището, както и типа на добивната и транспортна механизация.

Добивните работи се явяват един от най – важните фактори осъществяващи процеса на управление на качеството на добитото полезно изкопаемо. Технологичните процеси за добив на полезни изкопаеми трябва да се отличават с голяма гъвкавост, за да могат да обезпечат не само количеството, но и качеството на добитата суровина.

Добивните работи по своето предназначение не водят до повишаване на съдържанието на полезни компоненти в минералните суровини. Но променяйки обемите на издетото полезно изкопаемо от различни участъци и в различни срокове по време на добивните работи е възможно да се управлява процеса на формиране на качеството на добитото полезно изкопаемо. По този начин се достига едно усреднено качество на добитата суровина.

Управление на качеството на суровината се постига с дългосрочно планиране на минните работи при проектиране на календарния график за изземване на полезното изкопаемо, избраната система на разработване, начина на разкриване на рудничното поле, технологията на добива и избраната механизация и е непрекъснат процес, който продължава по време на оперативното управление.

При дългосрочното планиране се започва от плануваните обеми и необходимите качествени характеристики на добитото полезно изкопаемо за целия период на експлоатация на рудника. Необходимо е да се подбере такава посока на развитие на минните работи и такава последователност на изземаните блокове и участъци, че да се позволи да се получат необходимите качествени и количествени показатели на добитата суровина.

При добива на сложно – структурни находища този етап се явява изключително важен за възможното управление на качеството на суровината и осигурява първичното стабилизиране на качеството и количеството на полезните изкопаеми.

Най – голямо влияние върху управлението на качеството на добиваното полезно изкопаемо оказват избраната система и технология на разработване на находището, както и типа на добивната и транспортна механизация.

През последните няколко години управлението на качеството на добива е постигнало значителен напредък в рудните находища, но във въгледобивните, то е все още в начален етап. Така че е необходимо спешно да се оптимизира цялата система за добив на въглища с теорията и методите на рудните находища, съчетаващи система за добив на въглища с високо качество, висока производителност, висока ефективност, ниска себестойност и безопасно производство.

Недостатъчното проучване за това как да контролираме качеството на въглищата с идеите и методите на управлението на качеството е огромен минус. Все пак процесът на производство на въглища обхваща следните няколко етапа: изкопаване, натоварване, транспорт, сортиране, измиване и ако се замислим върху това да управляваме качеството във всеки един процес, то ние със сигурност ще повишим качеството на въглищата, спестявайки време и огромен финансов ресурс.

Качеството на въглищата зависи главно от природните условия, но също така и от минните процеси и производствените дейности. Често срещано е явлението да получаваме различно качество на въглищата при различните минни процеси в едни и същи природни условия. През последните няколко години, с подобряването на нивото на механизацията и достигането на по-големи дълбочини в откритите минни работи, индексът на качеството на въглищата тенденциозно се повишава. Следователно минните процеси са основният фактор при управление на качеството на въглищата.

Фокусът на дисертационния труд е насочен към изследване и оценка на управлението на качеството на добитата продукция в рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“ и извеждане на алгоритъм по критерий минимизация на оптималното отклонение от изискваните параметри за пепелно съдържание, калоричност и влажност на въглищата.

В **Глава I** на дисертационния труд е изучено състоянието и проблемите на качеството на продукцията при открития въгледобив. Представени са кратки сведения за развитието на открития въгледобив в България, за състоянието на суровинната база у нас, изискванията към качеството на полезните изкопаеми. Изучени и анализирани са показателите на качеството на въглища, руди и нерудни полезни изкопаеми, природните фактори влияещи върху качеството на полезното изкопаемо, както и загубите и обедняването на полезното изкопаемо. Извършена е характеристика на технологиите на открития добив и управлението на качеството в българските открити въглищни рудници, на базата на която са изведени особеностите на разработване на откритите въглищни рудници в България и е анализирано състоянието на проблема в световен мащаб. В заключение са изведени основни изводи, конкретизирана е целта на дисертационния труд и са систематизирани задачите, които трябва да бъдат решени.

Глава II на дисертацията е посветена на обектите на изследване, а именно - рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“. Изучени са геоложката характеристика на находището и района, на Пернишкия въглищен басейн и на рудник „Република“, а също и тектониката на масива. Извършена е характеристика на полезното изкопаемо и хидроложки и хидрогеоложки условия. В заключение са изведени основни изводи.

В **Глава III** е представено изследването и анализът на системата за управление на качество в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“. Изучени и обосновани са възможностите за осигуряване на качеството при подготовката на полезното изкопаемо за изземване, както и влиянието на параметрите на елементите от системата за разработване (височина на стъпалото, широчина на работната площадка, дължина на работния фронт), върху качеството и загубите на полезното изкопаемо. В края на тази част също са изведени общи изводи.

Глава IV на дисертационната работа представя разработения алгоритъм за оценка и управление на качеството на базата на линейното оптимизиране и статистическият анализ на пепелното съдържание и влажността на въглищата. Обосновани са още оперативното планиране, свойства на линейното оптимизиране и критериите за минимизация на максималното отклонение. Представено е решение на задачата за управление на качеството. В заключение са изведени основни изводи.

Общите изводи, заключения, научно-приложни приноси, литературни източници,

публикации по дисертационния труд и трите приложения са описани в заключителната част на дисертационния труд.

Получените резултати са публикувани в три статии, от които една в българско специализирано списание и две в сборници на международни форуми в чужбина.

II. Анализ на състоянието на проблема. Изводи от литературния обзор

Литературният обзор обхваща подробен преглед и систематизиране на различни аспекти, свързани с управление на качеството на добиваните полезни изкопаеми. Всички изследвани научни трудове са посочени в приложената библиографска справка. Би могло да се отбележи, че са много малко публикациите, които отделят необходимото внимание на управлението на качеството в минната промишленост по смисъла на пълнотата, с която би трябвало да се третира този въпрос. Независимо от този факт, чрез анализа на посочената библиографска справка е извършен опит да се подчертаят и анализират акцентите, които отделните автори и изследователи придават на различните елементи от Управлението на качеството.

От прегледа на достъпната литература, в която се разглеждат въпросите за управлението на качеството на добива на въглища по открит начин могат да се направят следните по-важни изводи:

1. Качеството на минералните суровини може да бъде описано посредством различни показатели, представляващи интерес за потребителя.

2. Формирането на качеството на добиваните минерални суровини е комплексен процес върху който оказват влияние различни фактори. Те могат да бъдат разглеждани като управляеми и неуправляеми. Постигането на желаното качество се осъществява чрез целенасочено въздействие на управляемите върху неуправляемите фактори.

3. Разработването на стандарти, представляващи съвкупност от изисквания към качеството на минералните суровини на различни етапи от добивния процес, е средство за управление на качеството на подаваните за преработка минерални суровини.

4. Доказано е че изграждането на система за управление на качеството на добиваните минерални суровини довежда до прираст на суровинната база от минерални суровини, които могат да бъдат добити без допълнително инвестиране на средства за проучване и подготовка и намаляване на разходите за добив, транспортиране, подготовка и преработка на некондиционни руди и безрудни скали.

5. Практическо приложение са намерили редица направления и подходи, третиращи проблема за управлението на качеството на добиваните суровини. Независимо от множеството намерени решения, отнасящи се за различни минно-технологични и геоложки условия, задоволителни резултати не са постигнати. Като основна причина за това се посочва факта, че към решаването на проблема е подхождано едностранно, без развитието на цялостна стратегия и използване на всички средства и достижения на съвременните технологии.

6. Подобряване качеството на добиваните минерални суровини е възможно само при изграждането на единна система за планиране и управление, отговаряща на следните изисквания:

- ❖ При решаване на задачата за управление на качеството на добиваните минерални суровини да се търсят индивидуални подходи, съответстващи на конкретните условия и изисквания;
- ❖ Управлението на качеството на добиваните минерални суровини да се извършва за всички етапи на планиране и управление;
- ❖ При управление на качеството на добиваните минерални суровини да се

използват наличните средства за транспортирането им от забоите до консуматора на суровината. Към изграждане на специални осреднителни съоръжения да се пристъпва само в случай на доказана икономическа ефективност от работата им;

- ❖ При определяне съдържанието на управляваните показатели в товаропотоците, да се използват експресни методи за анализ;
- ❖ В процеса на добивните работи да се използват методи за автоматизирано протоколиране изпълнението на поставените задачи на пряко заетите в производството хора.

III. Цел и задачи на дисертационния труд

На база на направения литературен анализ на проблемите в управлението на качеството при добив на въглища и световните тенденции целта на дисертационния труд е:

Изследване и оценка на управлението на качеството на добитата продукция в рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“. Извеждане на алгоритъм по критерий минимизация на оптималното отклонение от изискваните параметри за пепелно съдържание, калоричност и влажност на въглищата.

За постигане на така формулираната цел ще бъдат решени следните задачи:

1. Изследване и анализ на технологията за добив на въглища от рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“.
2. Изследване и анализ на системата за управление на качеството в рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“.
3. Създаване на алгоритъм за оценка и управление на качеството на базата на линейното оптимизиране.

За решаване на поставените задачи ще се използват следните методи:

- ❖ Системен, факторен и многокритериален анализ;
- ❖ Линейно оптимизиране и в частност критерии за минимизация на максималното отклонение и симплекс метод.

IV. Сведения за обектите на изследване - рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“

IV.1. Кратки общи и геоложки данни за района, находището и тектониката на масива

Пернишкия въглищен басейн включва двата открити рудника „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“, с предмет на дейност добив на кафяви каменни въглища. Рудниците заемат площ от 5608 dka и обхващат терени в землището на гр. Перник, село Дивотино, село Люлин и село Голямо Бучино.

Стратегическата цел на "Мини открит въгледобив" ЕАД е постигане на ниска себестойност и високо качество на добитите въглища, за което е необходимо минните работи да се водят по такъв начин, че да е налице максимално натоварване на производствените мощности и механизация, високи технологични показатели и качество на добитите въглища.

Добивът на въглища в „Пернишкия въглищен басейн“ се извършва в масив със сложни условия по отношение на якостните параметри на скалите, наличието на тектонски пукнатини и разседни зони, както и голямата прекъснатост на масива.

Специфичните технологични особености влияят върху свойствата на масива и много често се постигат неблагоприятни явления.

Електроснабдяването на минните предприятия се извършва от съществуващата ТЕЦ „Перник“, която е и център на топлофикация на града. Снабдяването на ТЕЦ с въглища е от собствени източници (открити и подземни рудници).

Водоснабдяването на града и откритите рудници става от язовир “Студена” и някои локални водоизточници.

В климатично отношение районът попада в умереноконтиненталната климатична подобласт на високите полета на България. Минималните температури се движат от $2^{\circ} \div 3,5^{\circ}\text{C}$. Лятото е хладно с най-висока температура за месец юли $26,5^{\circ}\text{C}$. Средната годишна температура е $9,5^{\circ}\text{C}$. Преобладаващите ветрове са северозападни, със средна скорост на вятъра $0,89 \div 1,4 \text{ m/s}$.

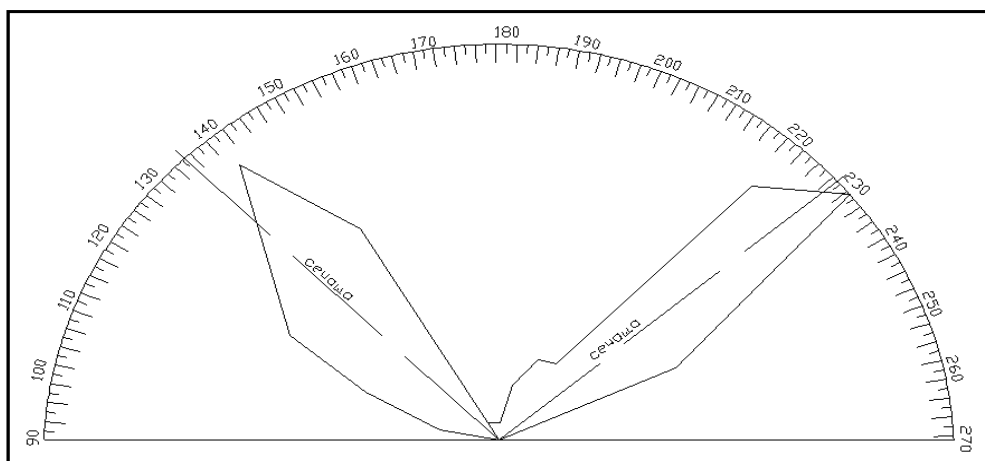
Районът спада към интензивните валежни зони – средно 600 ml. Зимните валежи са около $80 \div 120 \text{ mm}$, а пролетните средно $147 \div 175 \text{ mm}$.

Пернишкият въглищен басейн е изграден от седиментни скали: глини, мергели, пясъчници и други. Подложката е разнообразна и сложна. Южната част на басейна е представена от тектонски седименти: пясъчници в алтернация с алевроитови мергели и аргилити. В дълбочина съществува непосредствен контакт на титона с триаските окарстени варовици на Голо бърдо. На изток и север (към Люлин планина) върху титона залягат сенонски силно напукани андезити и андезитови туфи. Подложката в обсега на Витоша планина представлява сиенити и диорити. В района на кв. Батановци триаските варовици и доломити на места се придружават от палеозойски шисти.

Като цяло Пернишкият въглищен басейн е изграден от терциерни литоложки разновидности. Благой Каменов (1964 г.) разделя терциера на млад (неоген) и стар (палеоген).

Откритият добив на въглища в рудник “Република” се извършва в масив със сложни условия по отношение на якостните параметри на скалите, наличието на тектонски пукнатини и разседни зони, както и голямата прекъснатост на масива.

Тектонските процеси, които са засегнали масива на рудник “Република” са свързани със сложните тектонски прояви в Пернишкия басейн като цяло. Образувани са няколко синклинални гънки, най-важните от които се разкриват при експлоатацията на въглищата в рудника. Рудник “Република” попада в Дивотинско-Бучинската синклинала. През време на експлоатацията на въглищата беше доказана в най-ново време голяма дислокация в Сухото дере. В резултат от извършените многобройни замервания на макрупукнатините се установяват две главни системи пукнатини, които са взаимнопресичащи се (фиг. 7).



Фиг. 7. Диаграма-роза на пукнатините

IV.2. Характеристика на полезното изкопаемо. Хидроложки и хидрогеоложки условия

В проучената площ на Бученски участък на рудник "Република" продуктивният хоризонт представлява сложен въглищен комплекс от незакономерна алтернация между прослойки от въглища, въглищни шисти и различно оцветени глини, сред които не могат да се разграничат отделни и издържани по мощност и простиране въглищни пластовете. Мощността на въглищния комплекс по данни от прокараните контролни сондажи се изменя в широки граници.

В процеса на добивните работи в открития рудник "Република" определянето на качествените показатели на въглищата, които ще се добиват през следващата година се извършва с помощта на сондажни проби. Точките, в които става сондирането се определят предварително, така че да образуват правилна мрежа на разстояние $50 \div 60$ m. Това се налага от голямото непостоянство в строежа на въглищния пласт. При сондирането се използват проучвателни автосонди, снабдени с двустепенни ядрови тръби за осигуряване изваждането на по-висок процент сондажна ядка.

Пепелното съдържание на промишлената част на въглищния комплекс за изчисляване на запасите се движи от 53,12% до 64,78%. Средното съдържание възлиза на 61,3% и е в границите на кондиционните изисквания.

Добиваните въглища се подават в Обогатителна фабрика, където поради свръх трудната им обогатимост, те предварително се натрошават и пресуват, при което не повече от $45 \div 50\%$ от общото количество се обогатява. В резултат на това от подадените въглища не повече от $60 \div 62\%$ от тях отиват като енергийно гориво ($0 \div 30$ mm) в ТЕЦ "Република", с пепелно съдържание близо до това на подадените сурови въглища на рудника ($60 \div 62\%$). Останалото количество е около 35% скална маса и около 6% концентрати $0 \div 20$ mm и $20 \div 200$ mm.

Системата на разработване в двата рудника е транспортна с извозване на откривката на вътрешни насипища с автотранспорт. В участъците се прилага циклично-поточна технология. Въглищата се товарят с багери на автосамосвали и се транспортират до претоварачен пункт.

Максималната височина на стъпалата в рудниците се определя в зависимост от максималната височина на гребане на багера и от условията за прилагане на пробивно-взривни работи.

Пернишкият басейн като цяло се характеризира със сравнително прости хидрогеоложки условия. Високата плътност и ниските филтрационни свойства на палеогенските скали не създават благоприятни условия за формиране на подземни води в тях.

Единствено в зоните на тектонските нарушения се съдържат пукнатинни води, които се подхранват или от водите на подложката, или от водите на речните тераси и делувиялните отложения.

Инженерно-геоложките условия на басейна и участъка се отличават с голяма сложност. Необходимостта от тяхното изучаване възниква след проявата на първите големи свлачища по бордовете на откритите рудници. От 1954 г. до сега са направени значителни по обем проучвания, изследвания и наблюдения.

Масивът предварително се раздробява, съгласно Проектите за отговорно взривяване. Взривената откривка се натоварва с еднокофови багери в автосамосвали и се транспортира до вътрешни насипища.

Взривяването се извършва, съгласно *Проект за отговорно взривяване*. След натоварване автосамосвалите се отправят към вътрешни насипища. Автосамосвалите разтоварват откривката на насипищния хоризонт, а булдозерите прибутват остатъка

от нея по откоса на насипищното стъпало. Височината на стъпалата е под 15 m с цел по-доброто уплътняване на масива.

Пробивно-взривните работи в рудниците от „Пернишкия въглищен басейн“ се извършват съгласно „Правилник по безопасността по труда при взривните работи“ София, 1997 година.

Промислените взривни вещества имат отличаващи свойства като енергията на взривното разлагане, обем на газообразните продукти на взрива, скорост на детонация, способност да предават потенциалната си енергия към околната среда.

При оценка на сеизмичното действие на взрива не се наблюдава пряко пропорционална връзка, както при съхраняване на връзката – обем за разрушаване и условията, в които работи енергията на взрива.

Експериментално са установени разстоянията, на които се разпространяват динамичните въздействия от сеизмичните вълни при взривяване на заряди с еднаква маса при едни и същи условия.

Годишна програма на рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“ е $Q_{\text{год}} = 1\,078\,000\text{ t}$ въглища. При обемно тегло на въглищата $\gamma = 1,82\text{ t/m}^3$, $Q_{\text{год}} = 11\,040\,000\text{ m}^3$ откривка.

IV.3. Обобщени изводи

Въз основа на извършеното изследване на обектите, а именно - рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“ са изучени геоложката характеристика на находището и района, на Пернишкия въглищен басейн и на рудник „Република“, а също и тектониката на масива. Извършена е характеристика на полезното изкопаемо и хидроложки и хидрогеоложки условия. В заключение могат да се обобщят следните главни изводи:

1. Въз основа на направеният преглед на съществуващата технология за добив на въглища от рудник „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“ са обобщени основните технологични показатели на работа в минното предприятие.
2. Структурата, морфологията и залягането на полезното изкопаемо в рудник „Република“ и „Открит рудник – Обединен“, системата на разработване, технологията на добив, както и наличните транспортни средства създават възможност за формиране на разнообразни товаропотоци.
3. Общата закономерност между качествените показатели на добиваните въглища от рудник „Република“ и „Открит рудник – Обединен“, позволява изграждането на система за управление на качеството на добиваните въглища.
4. Установено е, че от подадените въглища не повече от $60 \div 62\%$ са годни за енергийно гориво, което показва, че процентът на обедняване е около 35 %.

V. Изследване и анализ на системата за управление на качеството в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“

V.1. Осигуряване на качеството при подготовката на полезното изкопаемо за изземване в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“

Осигуряване на качеството при подготовката на полезното изкопаемо, за изземване е непосредствено свързано с особеностите при планирането на добивните работи в рудниците „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“, а именно:

Необходимост от разпределяне на работата във време и пространство. Плановите на минните работи се представят във вид на таблица, но и във вид на

графически материали с означаване на местата, обемите и времето за работа на минно-транспортната механизация.

Ниска достоверност на изходната геоложка информация. Даже тези сведения за полезното изкопаемо, които се получават след опробване на сондажите за ПВР, обикновено се изменят след масовите взривявания, вследствие смесването на минната маса. Опробването на взривената минна маса от методична и техническа гледна точка е доста затрудняващо.

Необходимост в процеса на календарното планиране да се отчита едновременното извършване на добивни и откривни работи.

Календарното планиране на минните работи се извършва през всички етапи на проектирането и експлоатацията на откритите рудници „Република“ и „Открит Рудник – Обединен“:

- ❖ При разработване на техническия проект, на стадий работно проектиране, годишно, тримесечно, месечно и накрая оперативно планиране непосредствено в рудника в процеса на експлоатацията.
- ❖ На всеки следващ етап от планирането се използват решенията приети през предишния с оглед на тази допълнителна информация, която е получена през периода на реализацията на предишния етап от планирането.

Известно е, че за всеки стадий от планирането с достатъчна точност може да се предскаже ситуацията само за най-близкия период от време. При разпределяне на месечния обем работа по седмици, може да се състави реален план само за първата седмица, а за следващите седмици се съставят предварителни планове, които впоследствие се коригират.

Особеност при планиране на добивните работи се явява тяхната приоритетност. В процеса на планирането се набелязват преди всичко добивните участъци, осигуряващи доставката на суровина с необходимото качество и в необходимото количество. Всички останали работи се явяват подчинени и се планират в съответствие с добивните работи.

Ако обемът на добивните въглища превишава обема на необходимата за потребителя, тогава част от нея се складира вътре или извън контура на рудника. Складовете обикновено изпълняват шихтовъчни или усреднителни функции, което е необходимо да се отчита в процеса на планирането.

V.2. Влияние на параметрите на елементите от системата за разработване върху качеството и загубите на полезното изкопаемо

Височината на стъпалото е един от основните технологични параметри, определящи възможността и ефективността от използването на една или друга система за селективно разработване.

При хоризонтални и полегати находища (забои от I и II типове) височината на стъпалото се определя от мощността на залежите. Находища с мощност на залежа (до 15 m) обикновено се отработват с едно стъпало. Ако находището е представено от многократно редуващи се рудни слоеве и скални прослойки с мощност, близка до минимално промишлената, тогава височината на стъпалото се определя, като се изхожда от удобствата за тяхното селективно изземване. В този случай най-малки загуби и обедняване на добиваните въглища се осигуряват при използване на схеми със съответното разрохкване и сложно селективно изземване или при схеми с разрохкване на подстъпала и валово изземване на отделно раздробените слоеве. В първия случай най-добри показатели на загубите и обедняването се достигат при съответствие на височината на купа взривена минна маса с работни параметри на

товарно оборудване, а във втория – чрез разходите за взривни и товаро-транспортни работи при разделяне на стъпалото на подстъпа.

Наблюденията показват, че най-пълно изземване на въглищата при най-ниско обедняване се осигурява, когато кофата на багера достига всяка точка от височината на забоя и се изключва възможността за самообрушаването му в равнината на гребане, т.е. при:

$$H_{заб.} = H_{гр.} \quad (22)$$

$$\beta_3 \leq \beta_m$$

където:

$H_{заб.}$ - височина на забоя;

$H_{гр.}$ - височина на гребане на багера;

β_3 - ъгъл на откоса на забоя;

β_m - наклон на траекторията на гребане на багера в процес на работа.

Ъгълът на откоса на забоя се обуславя от ъгъла на вътрешно триене на разрохканата маса, показателите ѝ за сцепление и коефициента на разбухване. Практически този ъгъл е 35-55° (в зависимост от зърнометричния състав на минната маса). Всеки багер с права лопата може да осъществи загребване с кофата си при такива ъгли. Ако височината на гребане на багера превишава височината на напорния му вал, тогава ъгълът на наклона на траекторията за загребване се увеличава и при $\beta_m > \beta_3$, се увеличават загубите, или обедняването на рудата, вследствие самообрушаването на горната част на забоя.

Данните, получени въз основа на наблюдения за работата на различните багери в забои с различна височина показват, че разходите за натоварване за всеки от тях има своя оптимална област. При използване на багери ЕКГ-2, (Е-2003), ЕКГ-4,6 и ЕКГ-8 минималните разходи за товарене на минна маса се достигат при височина на забоя съответно 5 – 5,5 m; 7 и 9 – 10 m.

Характерът на изменение на разходите за транспортиране на минната маса я зависимост от височината на разработваните стъпала е аналогичен на характера на изменение на разходите за натоварване с известно изместване на оптималната област (чрез увеличаване височината на стъпалото, намаляване на разходите за строителство и поддържане на рудничните пътища и изменение на транспортните разстояния).

Височината на стъпалото оказва също така съществено влияние на режима на минните работи. Промените в обема на откривката във време води до изменение на потребностите от минно-транспортна механизация. Количествената връзка между тези показатели се определя за всеки конкретен случай въз основа на напречни профили или хоризонтни планове и се оценява с привеждане на разходите към даден момент от времето.

От една страна, намаляването височината на стъпалото води до намаляване на загубите и обедняването, повишаване на извличането и качеството на крайния продукт и намаляване на разходите за преработка, а от друга – до увеличаване на разходите за минни работи. Това налага необходимостта от обосноваване височината на стъпалото в цикъла **добив – подготовка – преработка на минната маса**.

Ширината на работната площадка е от значение за качеството и загубите на полезното изкопаемо. По-голямата работна площадка създава по-добри удобства за селективния добив.

Същността на селективното разработване се състои във валовото изземване и разделното товарене на минната маса от разделно разрохквани отделни участъци. Ако разделно разрохквания участък съдържа в себе си разнородна по качествени

показатели въглища, тяхното добиване се осъществява с някои от методите на селективно изземване.

В някои случаи увеличаване на ширината на добивните работни площадки може да доведе до изземване на по-големи обеми откривка от горележащите отривни стъпала, което в крайна сметка води до увеличаване коефициента на откривка.

Дължината на работния фронт също влияе върху качеството и загубите на полезното изкопаемо. Текущото осредняване се изпълнява в рамките на годишните, тримесечните и месечните обеми на работа, въз основа на данните от експлоатационното проучване. Технологично то се осъществява посредством различното предвиждане на забоите с различно качество на въглища, чрез вариране с подготвените за изземване запаси, чрез различна степен на резервиране на добивните багери и чрез изменения в схемите за отработване на въглищните стъпала.

V.3. Управление на качеството на продукцията от рудник „Република“ и рудник „Открит рудник – обединен“

В Обогатителна фабрика "Перник" въглищата преминават през процеси на опробване, шихтоване, трошене и пресяване.

Доставянето на въглища за преработка от рудниците до фабриката се извършва с ж.п. транспорт. След постъпването им в депото, посредством пробовземач, вагоните се опробват. Въглищата се разтоварват в приемните бункери. Негабаритните късове се натрошават ръчно на скари с размери 400 - 250 mm, след което преминалият през скарата подситов материал отива в приемен бункер. Всеки акумулиращ бункер е с обем от 90 тона. Посредством 4 бр. перкови питатели с производителност 300 t/h, въглищата се подават към два гумено лентови транспортъра с обща производителност 600 t/h. След което двата гумено лентови транспортъра се събират в един, който шихтова въглищата от рудник "Република" и рудник "Открит рудник – обединен" и транспортира материала за пресяване. Ситото е с наклон от 15 градуса и с отвори 100 mm. Надситовата фракция „+200 mm“ се транспортира по друг гумено лентов транспортър, за допълнително натрошаване в конусни трошачки, където се получава фракция 100 mm. Конусните трошачки са две на брой и под всяка има по 5 акумулиращи бункера по 200 тона обем, тоест под всяка конусна трошачка могат да бъдат акумулирани по 1000 тона въглища. Подситовият материал 0-100 mm и разтрошения материал се обединяват в един гумено лентов транспортър, който транспортира материала до роторна трошачка, която натрошава материала до 30 mm, каквото е изискването на ТЕЦ "Република".

V.4. Общи изводи

1. Системата на разработване със своята гъвкавост, предполага значителни възможности за управление на качеството на добиваните въглища и в частност – пепелното им съдържание и калоричността. Необходимо е параметрите на елементите от системата за разработване (височина на стъпалото, широчина на работната площадка, дължина на работния фронт) да се подберат така, че да подобрят качеството и да намалят загубите на полезното изкопаемо.

2. Препоръчва се след разкриване на въглищните пластове в двата рудника "Обединен" и "Република", да се направи проба с уреда "ENELEX G3030". След което резултатът да бъде имплементиран в представения по-долу математически модел за управление на качеството и чак след това да се пристъпи към изземване на въглищния пласт. След решаване на алгоритъма двата рудника получават точна информация по колко тона въглища трябва да изземат и да транспортират до обогатителната фабрика.

"ENELEX G3030" е настолен уред предназначен за бързо измерване на пепелно

съдържание и калоричност на въглищата, с помощта на радиационно лъчение. След поставяне на пробата в контейнера и затваряне на капака, пробата автоматично се премества в мястото за опробване. След приключване на измерването, тя отново автоматично се премества от мястото подложено на лъчение до напълно безопасно място за изваждането ѝ. Процесът на опробване отнема между 3 и 10 минути. Резултатът от измерването се показва на дисплей, като той може да бъде отпечатан на принтер, запаметен в паметта на устройството или прехвърлен на компютър.

Методът, който прилага уреда "ENELEX G3030" за измерване на съдържанието във въглищата е посредством разликата в затихването на две гама лъчи с различна енергия, преминаваща през въглищата. Измервателният радиационен лъч преминава през въглищната проба, докато резултатите от излъчването се запаметят в контролния блок. Въз основа на извлечените стойности от затихването на гама лъчите, контролния блок изчислява пепелното съдържание и калоричността на въглищната проба. Този процес отнема между 3 и 10 минути.

3. Препоръчва се при постъпване на вагоните в депото освен опробването, което се прави с цел да се направи лабораторен анализ на въглищата, също така да се прави и опробване с пепеломер "The Ash Probe".

The Ash Probe, производство на фирма "Bretby Gammatech" е преносим уред за измерване на пепелното съдържание на въглищата, който може да се използва практически навсякъде: в масива, в автосамосвалите или във вагоните натоварени с въглища. Уредът предоставя на потребителя точни показания на пепелното съдържание в рамките на 60 секунди, като не съдържа никакви радиоактивни източници. The Ash Probe се използва в целия свят като издържа на екстремните студове в Сибир, Канада и Шпицберген и непоносимата жегата в Индия, Виетнам, Индонезия, Иран и Африка.

Уредът се състои от две части, сонда за опробване и дисплей за визуализиране на резултатите. Принципът на работа на уреда Ash Probe е чрез измерването на сигнали от естествените радиоактивни елементи във въглищната маса. Специфичната радиоактивност на въглищата и останалите примеси в масива е значително различна. Точно тази разлика стои в основата на определянето на пепелното съдържание на въглищата. Сцинтилационен брояч регистрира и записва естествената радиоактивност на пробата, след това гама лъчите се преобразуват във фотони във видимия диапазон, а фотоумножител преобразува светлинните лъчи в електрически импулси. Вграденият софтуер изчислява пепелното съдържание в пробата в рамките на 60 секунди. След като резултатът от измерването на пепелното съдържание се покаже на дисплея, той може да бъде отпечатан на портативен принтер, запаметен в паметта на устройството или прехвърлен на компютър.

Препоръчва се след пристигане на влакова композиция, натоварена с въглища, на входа на обогатителната фабрика, да се пристъпи към опробване на всеки един вагон с пепеломера "The Ash Probe". Данните от него отново да се залагат в представения подолу математически модел и на базата на полученото решение да се подават за разтоварване тези вагони, с които решението на алгоритъма за усредняване на качеството на въглищата ще бъде максимално точно.

4. Размерите на приемните бункери да бъдат съобразени с размерите на вагоните.

VI. Създаване на алгоритъм за оценка и управление на качеството на базата на линейното оптимизиране

Необходимостта от повишаване на качеството и количеството при добива на въглища налага използването и разработването на все по-комплексни математически модели, които да отчитат по-голям брой променливи в системата открит рудник.

Усложняването на математическия апарат от своя страна изисква и наличието на качествена информация (временни редове), за изменението на основните параметри на въглищата (пепелно съдържание, влажност, калоричност и т.н.). Удачното събиране и съхранение на информация може да бъде ключов момент, както при избора на подход за оптимизация, така и при анализа на получените резултати. Нещо повече събирането и съхранението на информация се разглежда като част от цялостния производствен процес на предприятието.

Важно е да се отбележи, че параметрите характеризиращи добива на въглища имат **случаен характер**, тоест в резултат на измерване приемат една стойност, но тя не е известна предварително и зависи от случайни причини. Освен това те са непрекъснати, като приемат стойности в някакъв краен интервал. Например, пепелното съдържание, влажността и калоричността на въглищата могат да се разгледат като случайни величини от непрекъснат тип. Непрекъснати величини са и грешките при измерванията. Съвкупността от няколко случайни величини се нарича система от случайни величини и може да се разглежда като една многомерна случайна величина.

Много процеси в природата и техниката, и по конкретно при добива на въглища, се явяват резултат от съвместното действие на много случайни фактори. При това случайната величина, която числено характеризира дадения процес, представлява сума от много случайни величини подчиняващи се на различни закони на разпределение. Най-характерното и разпространено разпределение в природата е нормалното разпределение (разпределение на Гаус).

VI.1. Оперативно планиране

Процесът на планиране и оптимизиране при доставянето на въглища с определени показатели на влажност, пепелно съдържание и калоричност минава през няколко различни етапа.

Първата стъпка е събиране на информация за изменението на основните параметри на въглищата за определен период от време. В настоящия случай, разполагаме със среднодневни стойности на влажността, пепелното съдържание и калоричността за определен период от време на въглищата от Рудник „Обединен“ и Рудник „Република“. На базата на тази информация е направен статистически анализ с цел придобиване на ясна представа за поведението на тези три параметъра.

VI.2. Статистически анализ на пепелното съдържание и влажността на въглищата

При добиването и превоза на въглища от рудник Обединен и рудник Република е необходимо да се определят критичните стойности на пепелно съдържание, влажност и калоричност на въглищата, за да се осигури необходимото качество изисквано от ТЕЦ.

Част от резултатите от измерванията са представени в Таблицы 3 и 4 и графично на Фигури 10-20. Последователно са показани среднодневни стойности на количеството въглища, влажността, пепелното съдържание и калоричността за месеци май и юни 2014 година.

От представените графики се вижда, че има значителни вариации в количеството на добитите въглища, както за рудник Обединен, така и за рудник Република. Относително малки са колебанията на влажността за представения интервал от време – от 10 до 14 % за въглищата от рудник Република (със средна стойност от 12,2%) и от 9 до 15 % за въглищата от рудник Обединен (със средна стойност 12,9%). Вариациите на пепелното съдържание са значителни - от 54 до 70 % за въглищата от рудник Република (със средна стойност от 52,2%) и от 40 до 65 % за въглищата от рудник

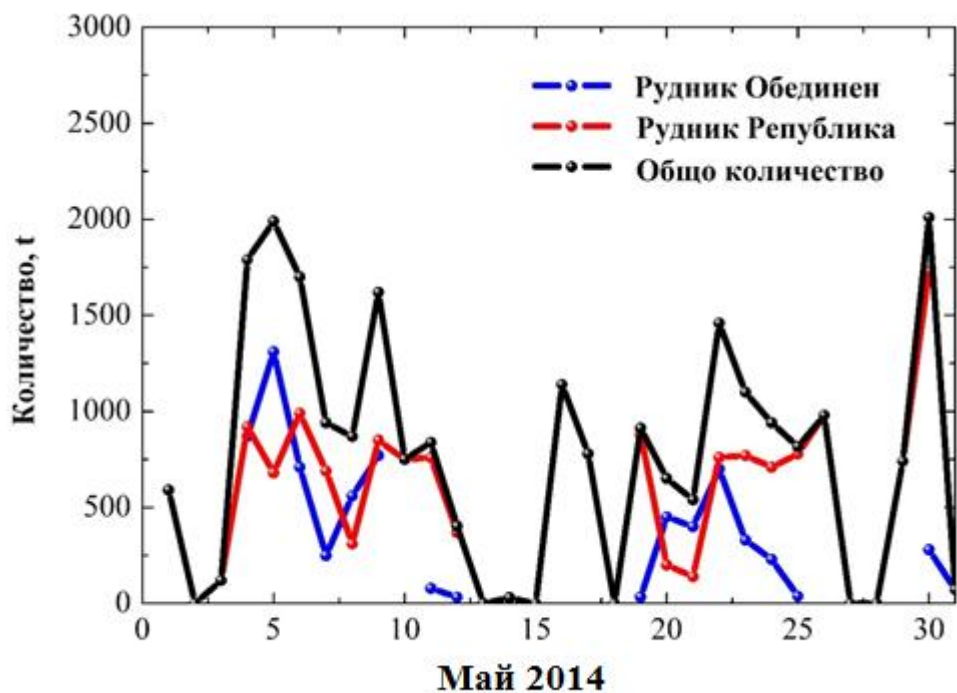
Обединен (със средна стойност 50, 9%). Аналогично е и състоянието с калоричността на въглищата, а именно значителни са вариациите на въглищата и в двата рудника - от 1500 до 2500 kcal/kg за въглищата от рудник Република (със средна стойност от 2020 kcal/kg) и от 9 до 15 % за въглищата от рудник Обединен (със средна стойност 12, 9%).

Таблица 3. Данни за пепелното съдържание (Ac), влажността (Wp) и калоричността (Q) на въглищата от рудник Обединен и рудник Република за периода от 04.05.2014 до 09.05.2014 г.

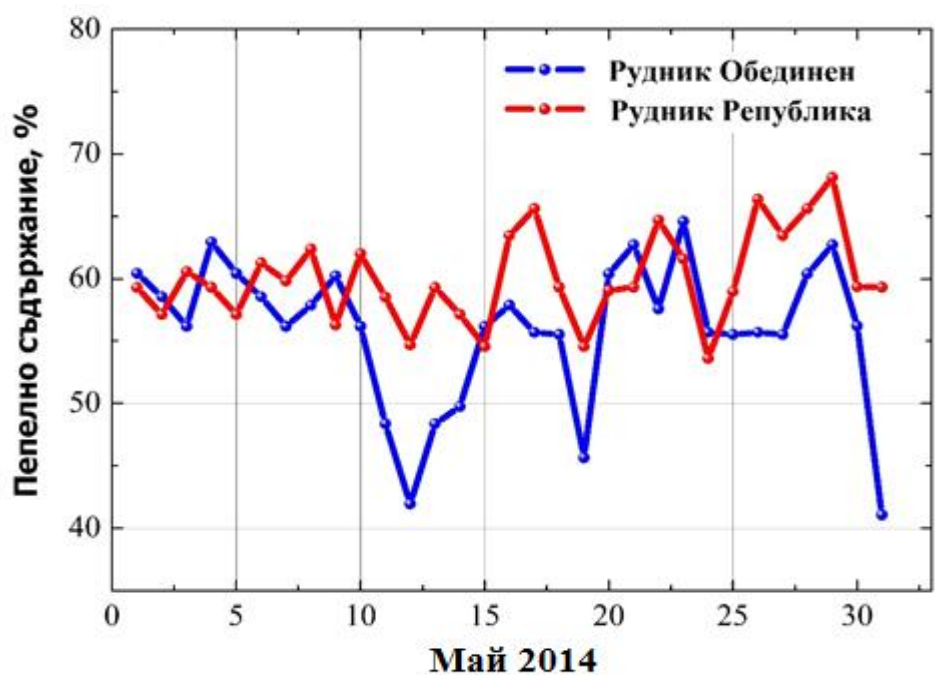
	Рудник Обединен			Рудник Република		
	Ac %	Wp %	Q kcal/kg	Ac %	Wp %	Q kcal/kg
04.05.2014	62.9	12.2	1822	59.3	12.9	2106
05.05.2014	60.4	12.7	2013	57.1	12.3	2266
06.05.2014	58.6	12.7	2135	61.3	11.3	1978
07.05.2014	56.2	13.4	2253	59.8	13.0	2053
08.05.2014	57.9	14.3	2136	62.4	10.9	1922
09.05.2014	60.2	14.8	2000	56.3	12.0	2296

Таблица 4. Данни за пепелното съдържание (Ac), влажността (Wp) и калоричността (Q) на въглищата от рудник Обединен и рудник Република за периода от 14.06.2014 до 20.06.2014 г.

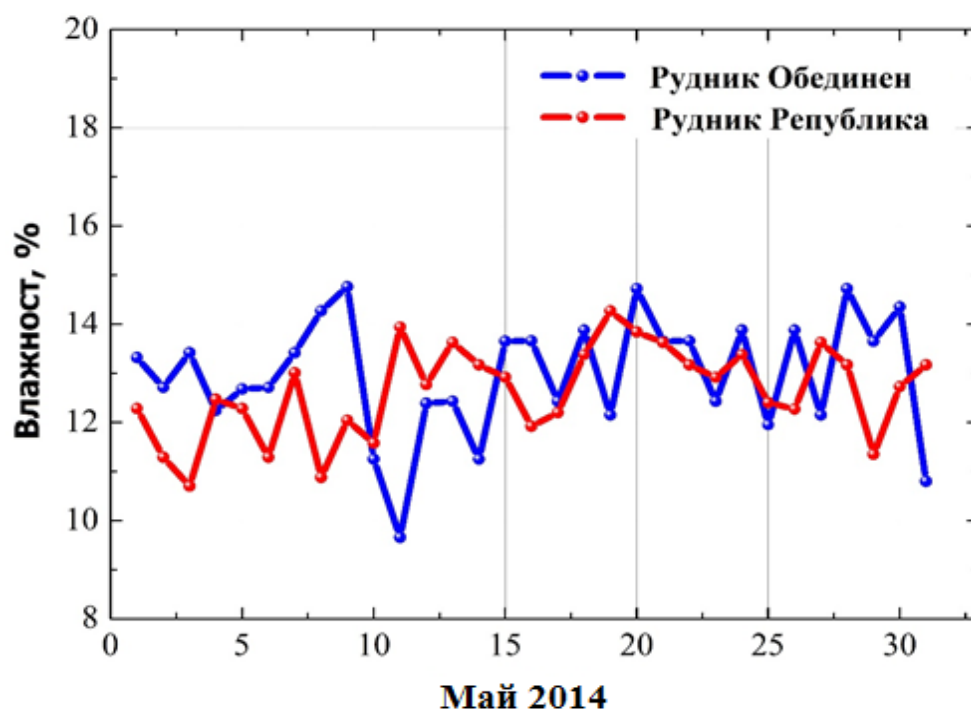
	Рудник Обединен			Рудник Република		
	Ac %	Wp %	Q kcal/kg	Ac %	Wp %	Q kcal/kg
14.06.2014	61.1	13.0	1939	58.5	14.3	2176
15.06.2014	44.3	13.1	3141	63.4	12.3	1786
16.06.2014	59.6	11.7	2130	64.4	13.6	1703
17.06.2014	66.5	12.7	1584	59.2	13.2	2095
18.06.2014	52.7	13.6	2695			
19.06.2014	65.3	12.5	1640	62.3	14.3	1806
20.06.2014	55.3	13.6	2338	61.1	13.0	1939



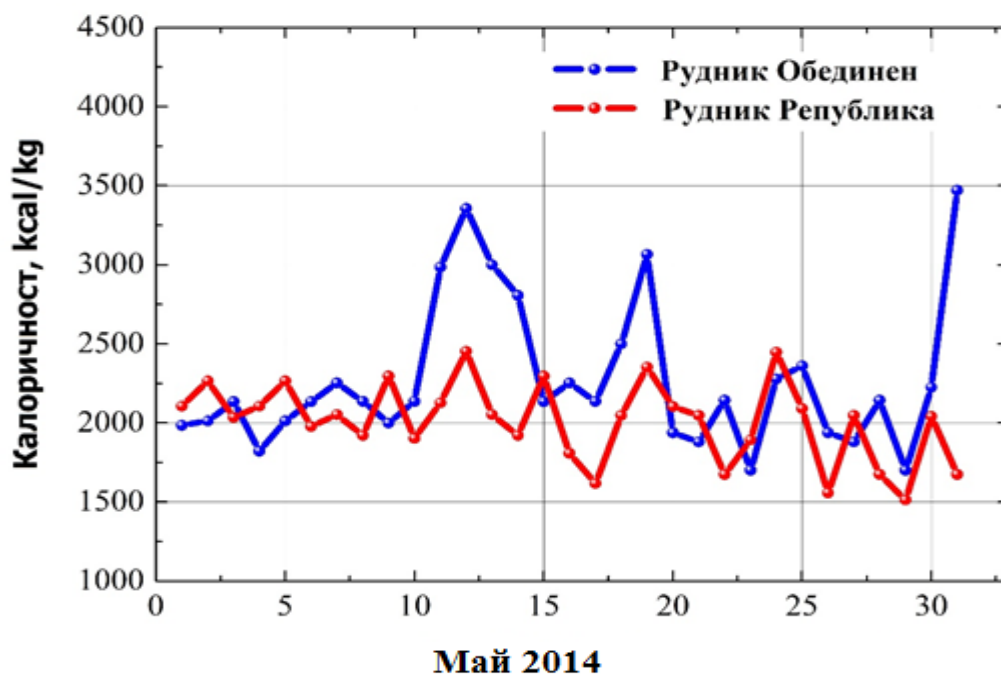
Фигура 10. Среднодневното количество въглища (t) добито от рудник Република (червената линия), рудник Обединен (синята линия) и общото количество (черната линия) за месец май 2014 г.



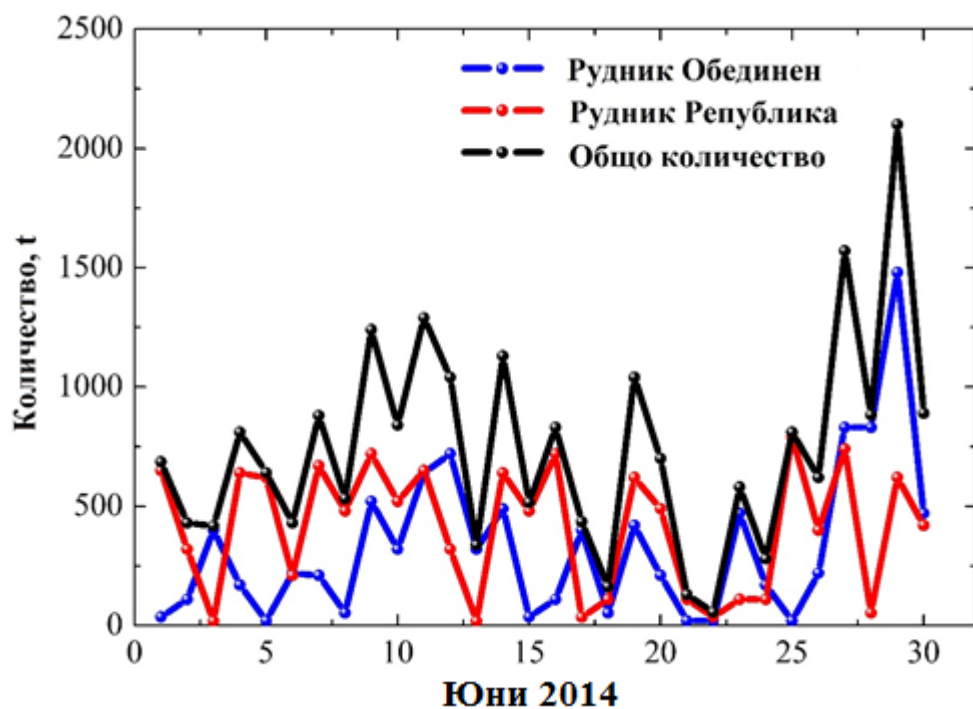
Фигура 11. Среднодневното пепелно съдържание (%) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединен (синята линия) за месец май 2014 г.



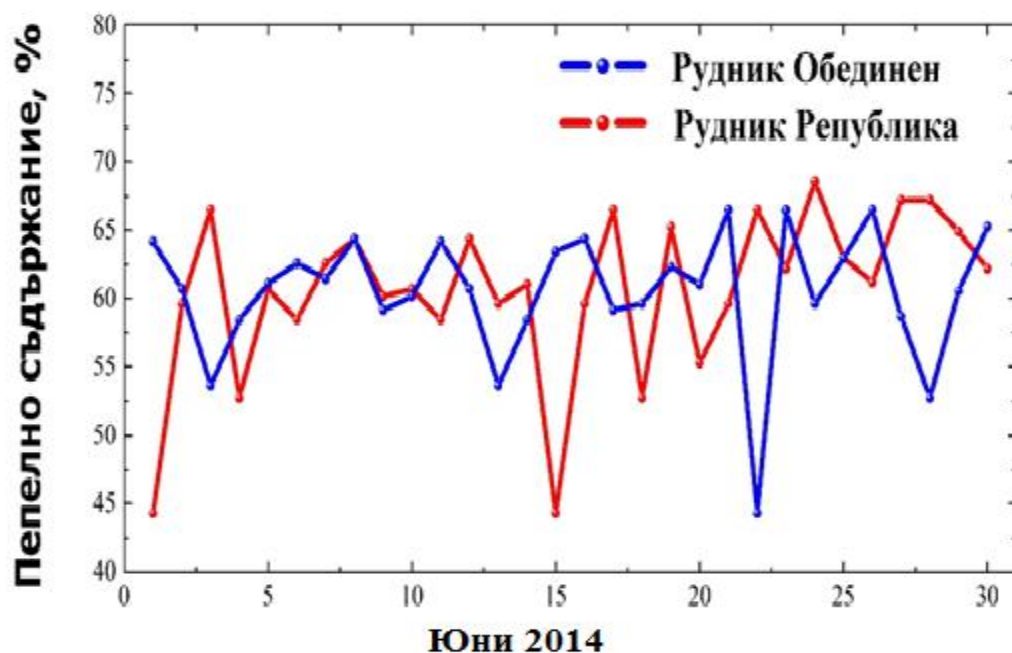
Фигура 12. Среднодневната влажност (%) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединен (синята линия) за месец май 2014 г.



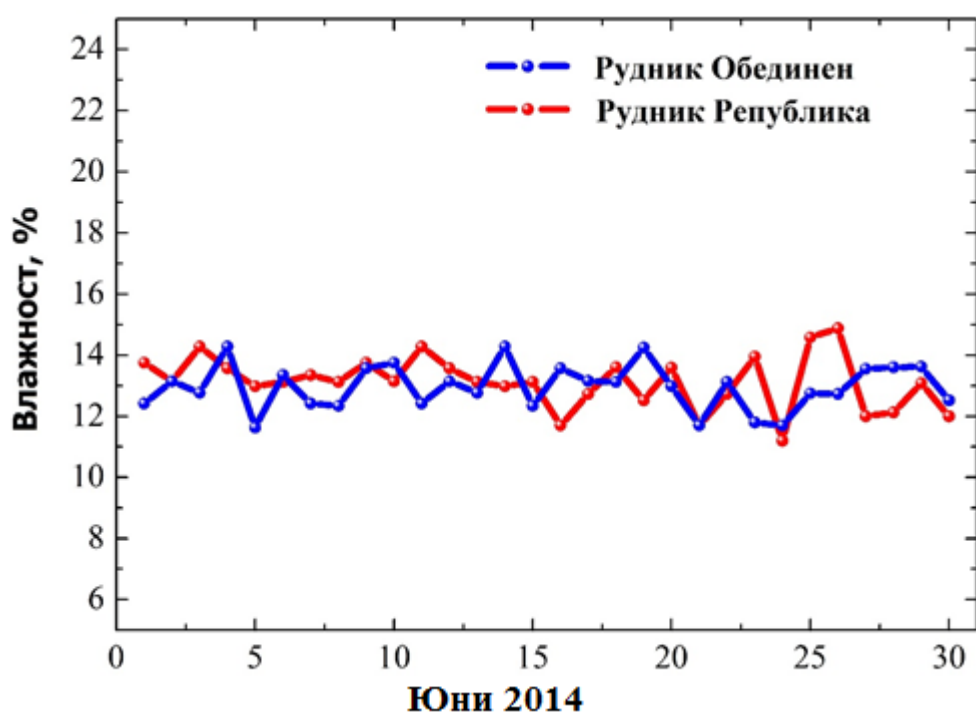
Фигура 13. Среднодневната калоричност (kcal/kg) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединен (синята линия) за месец май 2014 г.



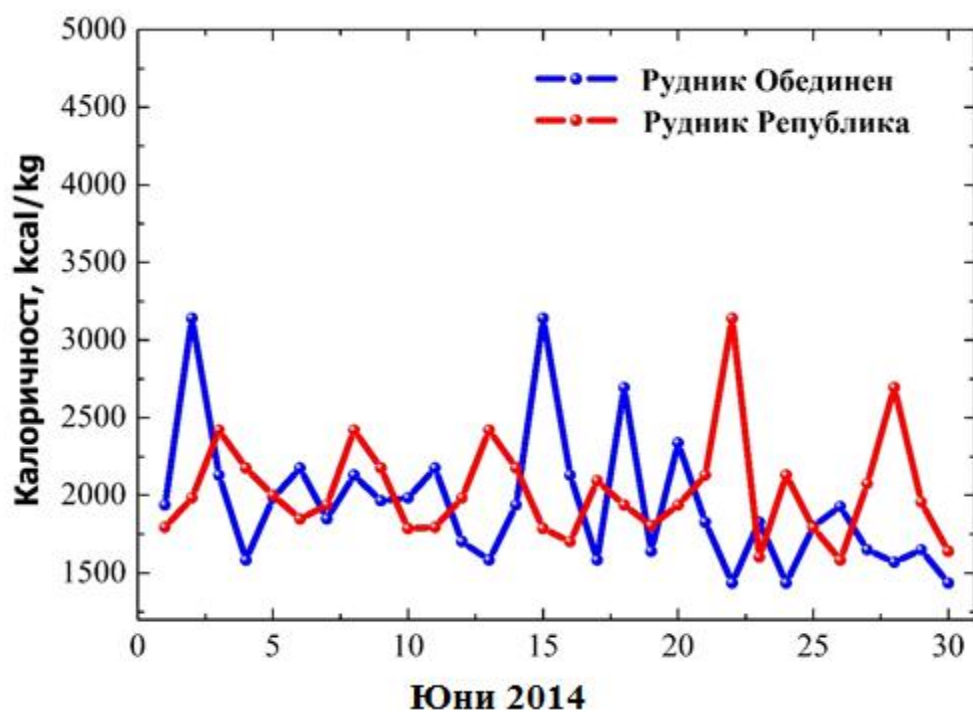
Фигура 14. Среднодневното количество въглища (t) добито от рудник Република (червената линия), рудник Обединен (синята линия) и общото количество (черната линия) за месец юни 2014 г.



Фигура 15. Среднодневното пепелно съдържание (%) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединение (синята линия) за месец юни 2014 г.



Фигура 16. Среднодневната влажност (%) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединен (синята линия) за месец юни 2014 г.



Фигура 17. Среднодневната калоричност (kcal/kg) на въглищата от рудник Република (червената линия) и рудник Обединен (синята линия) за месец юни 2014 г.

VI.3. Постановка на задачата

Основният проблем при оптимизирането на производствения процес и в частност добива на въглища от рудник Обединен и рудник Република е комбинирането на производствени обеми, така че да се получи суровина, която максимално да отговаря на изискванията на ТЕЦ за влажност, пепелно съдържание и калоричност.

За решаването на поставената задача се работи в следната последователност:

- ❖ Разглеждат се възможности за оптимизиране и се избира тази, удовлетворяваща поставените икономико-производствени критерии;
- ❖ Формулират се организационните решения за подобряване на дейността на рудниците.

Така формулираната задача принадлежи към класа линейни оптимизационни задачи, тъй като променливите участват линейно (полиноми от първа степен) както в целевата функция, така и в ограниченията.

Всяка задача на линейното оптимизиране включва три основни елемента.

- ❖ Променливи, които следва да бъдат определени;
- ❖ Целева функция, която трябва да бъде оптимизирана (минимизирана или максимизирана);
- ❖ Ограничения, които променливите трябва да удовлетворяват.

Всеки (двумерен) вектор, чиито координати удовлетворяват ограниченията на задачата, се нарича допустима точка (или допустим вектор, допустимо решение, план) на задачата. Множеството от всички допустими точки се нарича допустимо множество (а също така множество от условия, множество от ограничения, множество от планове). Онзи елемент на допустимото множество, за който целевата функция достига оптималната си стойност, се нарича оптимално решение на задачата.

Броят на променливите и броят на ограниченията се наричат размери на задачата. В случая имаме двумерна линейна оптимизационна задача с четири ограничения (обикновено ограниченията за неотрицателност на променливите не се броят, но задължително участват във формулировката на модела).

Общата задача на линейното оптимизиране се състои в намирането на оптималната стойност на линейна функция (наречена целева функция) върху множество, зададено с линейни ограничения, които могат да са както равенства, така и неравенства по отношение на променливите.

VI.3.1. Свойства на линейното оптимизиране

Задачата за линейно оптимизиране може да се запише в следния вид:

Търси се максимумът (минимумът) на функцията:

(25)

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

при следните ограничения:

(26)

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = s+1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, p \quad (p \leq n)$$

Функцията f се нарича целева функция или критерий. Променливите на които не е наложено условие за неотрицателност се наричат свободни променливи. Това са променливите $x_{p+1}, x_{p+2}, \dots, x_n$.

План на задачата или допустима точка се нарича всяко решение $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ удовлетворяващо ограниченията. Множеството от планове на задачата или допустимото множество е множеството P от всички възможни решения. Опорен план (крайна точка или екстремна точка) се нарича план, чиито компоненти удовлетворяват системата ограничения и сред тях има n линейно независими. Всеки опорен план е крайна точка (върх) на множеството от планове P . Решение на задачата или оптимален план е план, за който целевата функция достига максимума (минимума) си.

Доказани са следните теореми:

Теорема 1. Задачата за линейно оптимизиране има решение (е разрешима) тогава и само тогава, когато множеството P не е празно и целевата функция е ограничена отгоре (отдолу) в P .

Теорема 2. Всяка разрешима задача на линейното оптимизиране, която има опорни планове, има поне един опорен оптимален план.

Теорема 3. Опорните планове на задачата за линейно оптимизиране са краен (включително и нулев) брой.

Теорема 4. Необходимо и достатъчно условие задачата на линейното оптимизиране да има опорни планове е системата линейни ограничения да е съвместима и да има ранг n .

VI.3.2. Критерии за минимизация на максималното отклонение

Като качествен критерий за оптималност при решаване на поставената задача може да се използва критерият за минимизация на максималното отклонение, който може да бъде записан във вида:

(27)

$$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^e x_{ijk} q_{jk} A_{jik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^e x_{ijk} q_{jk}} - A_{nl} \rightarrow \min.$$

При това е необходимо да се отчетат следните ограничения:

(28)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^e x_{ijk} = H_j, \quad j = 1, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^e \sum_{j=1}^n x_{ijk} = L,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, e$$

където:

$x_{jik} = \begin{cases} 1, & \text{когато } k - \text{тия състав от забоя } i, \text{ се включва в маршрута } j \\ 0, & \text{всички останали случаи,} \end{cases}$
 i - номер на забоя;

j - номер на маршрута;
 k - номер на натоварената композиция от i - тия забой;
 q_{ik} - товароподемност на k -та композиция от i -тия забой;
 A_{nl} - плановата стойност за пепелното съдържание от i -тия забой;
 L - общият брой на композициите за даден (планиран) период от време;
 H_i - брой на натоварените композиции в маршрут.

В така представения математичен модел при изпълнение на всички условия, може да се достигне до успешно управление на качеството при добива на въглища от рудник Обединен и рудник Република, чрез комбинирането на производствени обеми, така, че да се получи суровина, която максимално да отговаря на изискванията на ТЕЦ за влажност, пепелно съдържание и калоричност.

VI.3.3. Решение на задачата за управление на качеството

Математическия модел в нашия случай може да се формулира по следния начин: Търси се максималната стойност на целева функция Z , която е сума от добитото количество въглища от двата рудника:

$$Z = \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \max, \quad (29)$$

където: n е броя на забоите, x_i – дневния добив на въглища от забоя i .

При търсене на тази целева функция трябва да се съблюдават следните ограничения:

(30)

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \leq A_{nl},$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i W_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \leq W_{nl},$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i Q_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \geq Q_{nl},$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \geq L_{\min i},$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq L_{\max i},$$

където: A_i е измереното пепелно съдържание;
 W_i е измерената влажност;

Q_i е измерената калоричност на добитото количество въглища от i – тия забой. $L_{min\ i}$ и $L_{max\ i}$ са съответно сумата на минималното и максимално количество въглища, които се транспортират от i – тия забой до мястото на депониране за определен период от време. Ограниченията за минимална и максимална производителност (последните две ограничения) са свързани с броя и вместимостта на вагоните, чрез които се осъществява транспортирането от двата рудника.

При известна маса на въглищата транспортирани в композицията вагони (или за всеки отделен вагон) е необходимо само да се определят съответните коефициенти за неизвестните променливи в ограниченията.

Плановите стойности на трите параметъра, които участват при формулиране на ограниченията в математическия модел и които по същество представляват изискванията на ТЕЦ за качеството на въглищата имат следните стойности: пепелното съдържание на подаваните въглища трябва да е в границите $59\% \leq A_{nl} \leq 61\%$; влажността на въглищата трябва да отговаря на условието $12.5\% \leq W_{nl} \leq 13.5\%$; калоричността трябва да е в границите $1900\text{ kcal/kg} \leq Q_{nl} \leq 2100\text{ kcal/kg}$. Условието планираните стойности и на трите параметъра да попадат в затворен интервал, усложнява допълнително решаването на задачата.

Управлението на качеството при така поставената задача се свежда до намиране на максималното дневно количество въглища, сумата от които да удовлетворяват изискванията на ТЕЦ. С други думи сумарният символ n приема стойности 1 и 2. Тогава модела може да бъде записан в следния вид:

Търси се максималната стойност на целева функция Z , която е:

(31)

$$Z = \sum_{i=1}^2 x_i = x_1 + x_2 \rightarrow \max,$$

при следните ограничения:

- за пепелно съдържание:

$$61 \geq \frac{\sum_{i=1}^2 x_i A_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} \geq 59, \quad (32)$$

които могат да бъдат записани като:

(33)

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i A_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2}{x_1 + x_2} \leq 61 \Leftrightarrow x_1 A_1 + x_2 A_2 - 61x_1 - 61x_2 \leq 0,$$

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i A_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2}{x_1 + x_2} \geq 59 \Leftrightarrow x_1 A_1 + x_2 A_2 - 59x_1 - 59x_2 \geq 0,$$

- за влажност:

$$13,5 \geq \frac{\sum_{i=1}^2 x_i W_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} \geq 12,5, \quad (34)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i W_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 W_1 + x_2 W_2}{x_1 + x_2} \leq 13,5 \Leftrightarrow x_1 W_1 + x_2 W_2 - 13,5 x_1 - 13,5 x_2 \leq 0, \quad (35)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i W_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 W_1 + x_2 W_2}{x_1 + x_2} \geq 12,5 \Leftrightarrow x_1 W_1 + x_2 W_2 - 12,5 x_1 - 12,5 x_2 \geq 0,$$

- за калоричност:

$$2100 \geq \frac{\sum_{i=1}^2 x_i W_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} \geq 1900, \quad (36)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i Q_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 Q_1 + x_2 Q_2}{x_1 + x_2} \leq 2100 \Leftrightarrow x_1 Q_1 + x_2 Q_2 - 2100 x_1 - 2100 x_2 \leq 0, \quad (37)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i Q_i}{\sum_{i=1}^2 x_i} = \frac{x_1 Q_1 + x_2 Q_2}{x_1 + x_2} \geq 1900 \Leftrightarrow x_1 Q_1 + x_2 Q_2 - 1900 x_1 - 1900 x_2 \geq 0.$$

Освен горните три условия, свързани с показателите на добитите въглища, е необходимо и налагане на ограничения свързани с производителността на двата рудника. От гледна точка на формулираната задача, ще се приеме, че максималната производителност от даден рудник е равна на общото количество, което пристига в мястото на депониране посредством влакова композиция за даден период от време. Среднодневно от рудник Република в мястото на депониране пристигат 18 вагона с максимална товароносимост от 45 t за вагон. Общото максимално количество въглища, което може да бъде депонирано от рудник Република е 810 t. Среднодневно от рудник Обединен в мястото на депониране пристигат 16 вагона с максимална товароносимост също от 45 t за вагон. Общото максимално количество въглища, което може да бъде депонирано от рудник Обединен е 720 t. Тогава условията за производителност имат вида:

(38)

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 \leq 1530,$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 \geq 0, \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0,$$

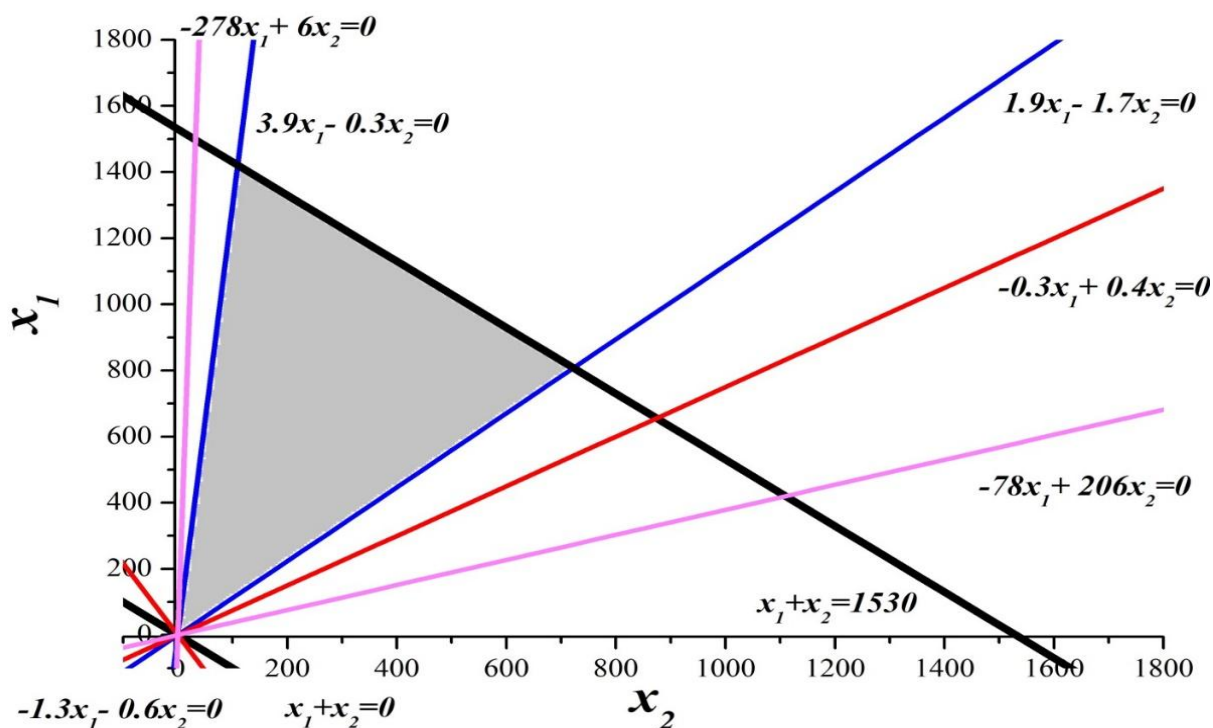
Окончателно за ограниченията получаваме системата:

$$\begin{aligned} x_1(A_1 - 61) + x_2(A_2 - 61) &\leq 0, \\ x_1(A_1 - 59) + x_2(A_2 - 59) &\geq 0, \\ x_1(W_1 - 13,5) + x_2(W_2 - 13,5) &\leq 0, \\ x_1(W_1 - 12,5) + x_2(W_2 - 12,5) &\geq 0, \\ x_1(Q_1 - 2100) + x_2(Q_2 - 2100) &\leq 0, \\ x_1(Q_1 - 1900) + x_2(Q_2 - 1900) &\geq 0, \\ x_1 &\geq 0, \\ x_2 &\geq 0, \\ x_1 + x_2 &\leq 1530. \end{aligned} \tag{39}$$

Наличието на две променливи в системата от неравенства ни позволява сравнително лесно да определим техните стойности графично. Например нека разгледаме данните за параметрите на въглищата от двата рудника на 04.05.2014, които са представени в Таблица 3. Като заместим експериментално установените параметри в системата неравенства получаваме:

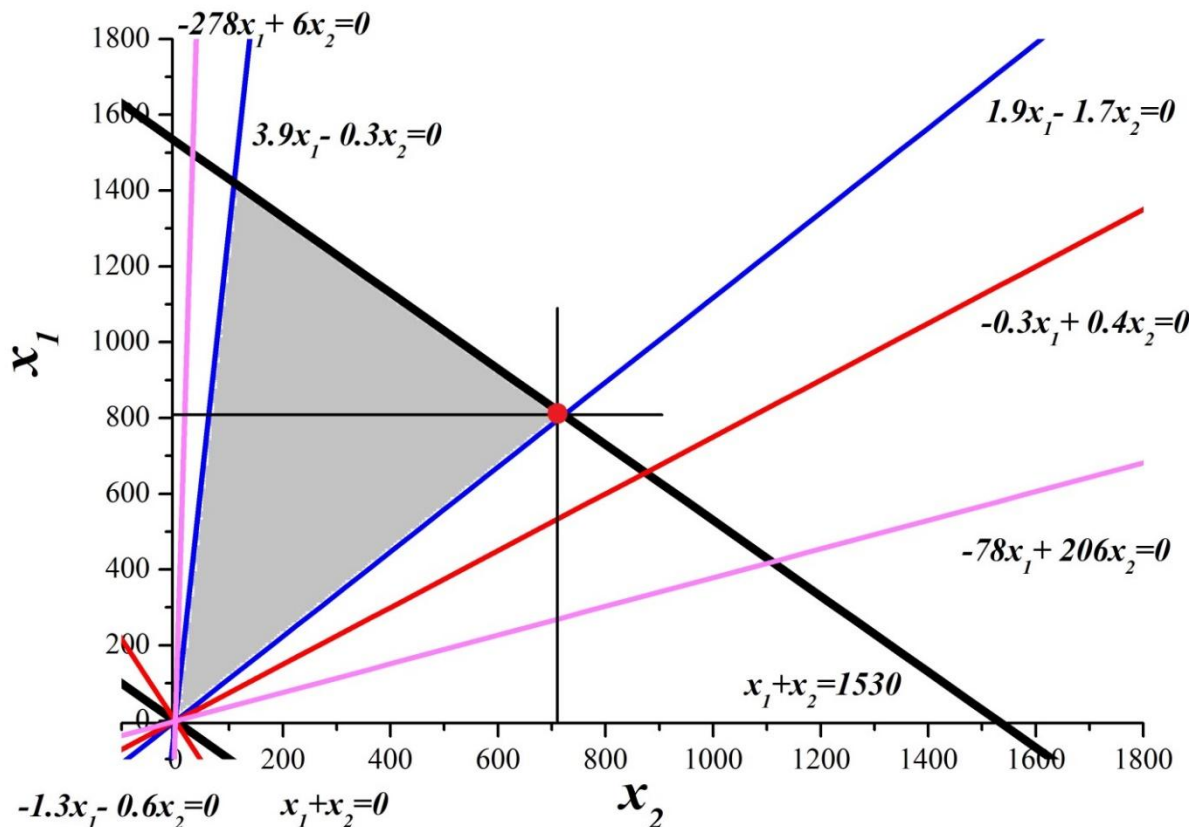
$$\begin{aligned} x_1(62.9 - 61) + x_2(59.3 - 61) &\leq 0 \Leftrightarrow 1.9x_1 - 1.7x_2 \leq 0 \\ x_1(62.9 - 59) + x_2(59.3 - 59) &\geq 0 \Leftrightarrow 3.9x_1 + 0.3x_2 \geq 0 \\ x_1(12.2 - 13,5) + x_2(12.9 - 13,5) &\leq 0 \Leftrightarrow -1.3x_1 - 0.6x_2 \leq 0 \\ x_1(12.2 - 12,5) + x_2(12.9 - 12,5) &\geq 0 \Leftrightarrow -0.3x_1 + 0.4x_2 \geq 0 \\ x_1(1822 - 2100) + x_2(2106 - 2100) &\leq 0 \Leftrightarrow -278x_1 + 6x_2 \leq 0 \\ x_1(1822 - 1900) + x_2(2106 - 1900) &\geq 0 \Leftrightarrow -78x_1 + 206x_2 \geq 0 \\ x_1 + x_2 &\geq 0, \\ x_1 + x_2 &\leq 1530. \end{aligned} \tag{40}$$

Системата от линейни неравенства е представена графично на Фигура 18. Решенията, които я удовлетворяват се съдържат в сивия триъгълник. Черната линия, която ограничава триъгълника от „горната“ страна представлява опорен план на задачата.



Фигура 18. Графично представяне на системата линейни неравенства за параметри на въглищата от 04.05.2014 г. Черните линии отразяват изискванията за производителността на двата рудника, сините линии са свързани с ограниченията за пепелно съдържание, червените с ограниченията за влажността, а лилавите с калоричността

При намирането на целевата функция се използват количествата въглища, които достигат до мястото на депониране, чрез влакови композиции, съставени от вагони с точно определена товароносимост. Това налага едно допълнително условие към решението на задачата, а именно кратност на количеството въглища от всеки един рудник. С други думи количествата x_1 и x_2 трябва да бъдат кратни на 45, толкова колкото е товароносимостта на един вагон. По този начин графично максималното възможно решение може да се намери по начина показан на Фигура 19. По този начин окончателно получаваме $x_1 = 810$ t и $x_2 = 720$ t.



Фигура 19. Графично представяне на системата линейни неравенства и определяне на решението (червената точка)

Така представения пример удовлетворява условията за съществуване на решение (Теорема 1).

Нека разгледаме данните за параметрите на въглицата от двата рудника на 19.06.2014, които са представени в Таблица 4. Като заместим експериментално установените параметри в системата неравенства получаваме:

$$x_1(65.3 - 61) + x_2(62.3 - 61) \leq 0 \Leftrightarrow 4.3x_1 + 1.3x_2 \leq 0 \quad (41)$$

$$x_1(65.3 - 59) + x_2(62.3 - 59) \geq 0 \Leftrightarrow 6.3x_1 + 3.3x_2 \geq 0$$

$$x_1(12.5 - 13.5) + x_2(14.3 - 13.5) \leq 0 \Leftrightarrow -x_1 + 0.8x_2 \leq 0$$

$$x_1(12.5 - 12.5) + x_2(14.3 - 12.5) \geq 0 \Leftrightarrow 1.8x_2 \geq 0$$

$$x_1(1640 - 2100) + x_2(1806 - 2100) \leq 0 \Leftrightarrow -470x_1 - 294x_2 \leq 0$$

$$x_1(1640 - 1900) + x_2(1806 - 1900) \geq 0 \Leftrightarrow -260x_1 - 94x_2 \geq 0$$

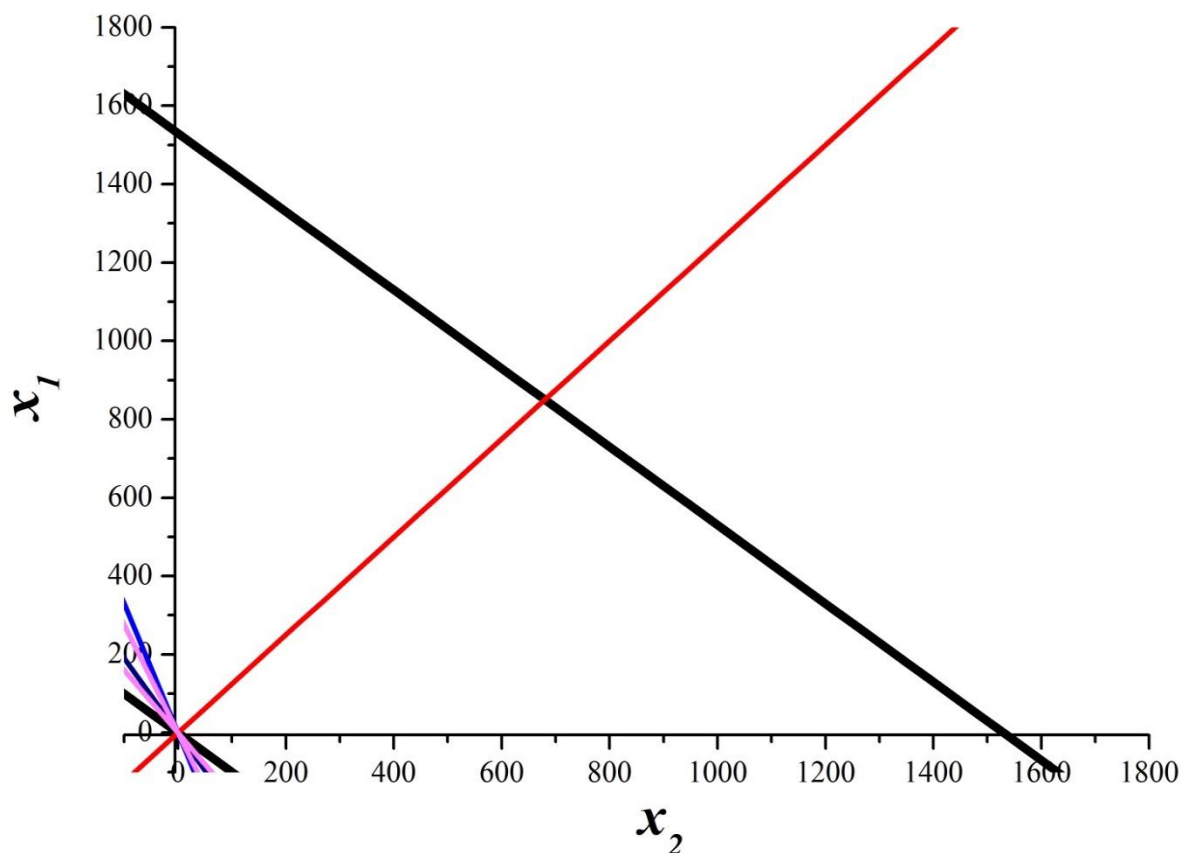
$$x_1 + x_2 \geq 0,$$

$$x_1 + x_2 \leq 1530.$$

Графичното представяне на тази система е показано на Фигура 20. Очевидно при този случай, не е изпълнено условието за съществуване на решение. С други думи показателите на добитите въглища от двата рудника са такива, че при каквато и да е комбинация не може да се получи суровина, която да отговаря на изискванията на ТЕЦ, едновременно за влажност, пепелно съдържание и калоричност.

При така получената ситуация е възможно да се подходи по няколко начина. Да се търси компромисно решение, което максимално да доближава ограниченията или да

бъде включена допълнителна променлива x_3 , с помощта на която да бъде моделирано съответното точно решение.



Фигура 20. Графично представяне на системата линейни неравенства за параметри на въглищата от 19.06.2014 г. Черните линии отразяват изискванията за производителността на двата рудника, сините линии са свързани с ограниченията за пепелно съдържание, червените с ограниченията за влажността, а лилавите с калоричността

VI.3.4. Изводи

От така направените изчисления по формулираната задача, могат да се дадат следните препоръки за подобрене на контрола на качеството:

- Необходимо е подобряването на методите за събиране на информация за пепелното съдържание, влажността и калоричността на въглищата от двата рудника. По този начин ще бъде минимизирана грешката при изчисленията, от което ще се подобри качеството на крайния състав на въглищата.
- Внедряване на автоматизирана система за изчисляване на количеството въглища от всеки рудник, необходими за покриване на изискваните критерии на ТЕЦ. Това значително ще подобри времевите показатели в производствения процес.
- Графиките на фигура 18 и фигура 19 могат да бъдат използвани за определяне на най – подходящите стойности за параметрите на качеството на въглищата, така че да бъдат създадени предпоставки за осигуряване постоянно подаване на въглища с желаните качествени показатели към консуматора.
- Графиката на фигура 20 доказва необходимостта за изграждането на междинен склад за въглища с капацитет позволяващ поддържане нормална работа на консуматорите 5 дни.

VII. Основни изводи

От извършените изследвания и приложени изпитвания могат да се изведат следните основни изводи:

1. Качеството на минералните суровини може да бъде описано посредством различни показатели, представляващи интерес за потребителя (свойства, количества, време и цена на доставяната минерална суровина).

2. Формирането на качеството на добиваните минерални суровини е комплексен процес върху който оказват влияние различни фактори. Те могат да бъдат разглеждани като управляеми и неуправляеми. Постигането на желаното качество се осъществява, чрез целенасочено въздействие на управляемите върху неуправляемите фактори.

3. Разработването на стандарти, представляващи съвкупност от изисквания към качеството на минералните суровини на различни етапи от добивния процес, е средство за управление на качеството на подаваните за преработка минерални суровини.

4. Доказано е, че изграждането на система за управление на качеството на добиваните минерални суровини, довежда до прираст на суровинната база от минерални суровини, които могат да бъдат добити без допълнително инвестиране на средства за проучване и подготовка и намаляване на разходите за добив, транспортиране, подготовка и преработка на некондиционни руди и безрудни скали.

5. Практическо приложение са намерили редица направления и подходи, третиращи проблема за управлението на качеството на добиваните суровини. Независимо от множеството намерени решения, отнасящи се за различни минно-технологични и геоложки условия, задоволителни резултати не са постигнати. Като основна причина за това се посочва факта, че към решаването на проблема е подхождано едностранно, без развитието на цялостна стратегия и използване на всички средства и достижения на съвременните технологии.

6. Подобряване качеството на добиваните минерални суровини е възможно само при изграждането на единна система за планиране и управление, отговаряща на следните изисквания:

- ❖ При решаване на задачата за управление на качеството на добиваните минерални суровини да се търсят индивидуални подходи, съответстващи на конкретните условия и изисквания;
- ❖ Управлението на качеството на добиваните минерални суровини да се извършва за всички етапи на планиране и управление;
- ❖ При управление на качеството на добиваните минерални суровини да се използват наличните средства за транспортирането им от забоите до консуматора на суровината. Към изграждане на специални осреднителни съоръжения да се пристъпва само в случай на доказана икономическа ефективност от работата им;
- ❖ При определяне съдържанието на управляваните показатели в товаропотоците, да се използват експресни методи за анализ;
- ❖ В процеса на добивните работи да се използват методи за автоматизирано протоколиране изпълнението на поставените задачи на пряко заетите в производството хора.

7. Ефективността на технологичните схеми за добив се определят чрез сравняването на основни показатели на конкурентни варианти. За тази цел се прилагат различни критерии.

8. Разгледани са различните технологични решения за управлението на качеството при добив на въглища в Европа и Азия.

9. Структурата, морфологията и залягането на полезното изкопаемо в рудник „Република“ и „Открит рудник – Обединен“, системата на разработване, технологията на добив, както и наличните транспортни средства създават възможност за формиране на разнообразни товаропотоци.

10. Общата закономерност между качествените показатели на добиваните въглища от рудник „Република“ и „Рудник „Открит рудник – Обединен“, позволява изграждането на система за управление на качеството на добиваните въглища.

11. Системата на разработване със своята гъвкавост, предполага значителни възможности за управление на качеството на добиваните въглища и в частност – пепелното им съдържание и калоричността.

12. Препоръчва се при постъпване на вагоните в депото освен опробването, което се прави с цел да се направи лабораторен анализ на въглищата, също така да се прави опробване с пепеломер "The Ash Probe" на фирма "Bretby Gammatech".

13. Размерите на приемните бункери да бъдат съобразени с размерите на вагоните.

14. Необходимо е подобряването на методите за събиране на информация за пепелното съдържание, влажността и калоричността на въглищата от двата рудника. По този начин ще бъде минимизирана грешката при изчисленията, от което ще се подобри качеството на крайния състав на въглищата.

15. Внедряване на автоматизирана система за изчисляване на количеството въглища от всеки рудник, необходими за покриване на изискваните критерии на ТЕЦ. Това значително ще подобри времевите показатели в производствения процес.

16. Графиките на фигура 18 и фигура 19 могат да бъдат използвани за определяне на най – подходящите стойности за параметрите на качеството на въглищата, така че да бъдат създадени предпоставки за осигуряване постоянно подаване на въглища с желаните качествени показатели към консуматора.

17. Графиката на фигура 20 доказва необходимостта за изграждането на междинен склад за въглища с капацитет позволяващ поддържане нормална работа на консуматорите 5 дни.

VIII. Заключение

Получените резултати дават основание да се посочи недвусмислено, че при използването на подходяща технология за добив ще доведе до значително повишаване управлението на качеството на добиваните въглища.

Изведени са границите, в които добива на въглища е с постоянни качествени показатели.

Използването на междинен склад за усредняване на качеството на добиваните въглища ще намали до минимум риска от неизпълнение на производствените задачи.

IX. Научно-приложни приноси

Въз основа на дефинираните резултати и изводи се формулират следните авторски претенции за научно-приложни приноси:

1. Доказана е възможността за практическо прилагане на критерия за минимизация на максималното отклонение в открития въгледобив. Получените резултати могат да бъдат анализирани съвместно с доказаните зависимости, касаещи качествените показатели на добиваните въглища. Възприетият подход на изследване може да бъде приложен и за други обекти със сходни условия.

2. Направен е преглед и систематизиране на известни в литературата решения, свързани с управлението на качеството на добиваните въглища.

3. Създадени са основи и е представена концепция за изграждане на система за оперативно управление на качеството при открития добив на въглища от рудник „Република“ и „Открит рудник – Обединен“ характеризираща се с:

- ❖ Управление на добивните работи в реално време;
- ❖ Необходимост от изграждане на междинен усреднителен склад;
- ❖ Разглеждане на системата за оперативно управление като част от системата за планиране и управление на добивните работи;
- ❖ Съставяне и поддържане на множество обратни връзки, позволяващи непрекъснато обновяване на информационния модел за качеството на добиваните въглища и последващото калибриране на добивните работи;
- ❖ Възможност за натрупване на база данни и извършване на множество анализи.

4. Общата закономерност между качествените показатели на добиваните въглища от рудник „Република“ и рудник „Открит рудник – Обединен“, позволява изграждането на интегрирана система за управление на качеството на добиваните въглища от двата рудника.

Научно-приложните приноси са приложими в двата открити рудника от Пернишкия въглищен басейн – „Република“ и „Открит рудник – Обединен“.

X. Публикации по дисертационния труд

1. Koprev, I., Djobov, I., Georgiev, D., *"Development of deep-sea mining technology for mining of sapropel sediments in the black sea"*, XIII-та Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 01-05.09.2015 г.

2. Georgiev, D., Koprev, I., *"Quality and quantity management of complex ore in open pit mines"*, Проблеми недропользования Международный форум - конкурс молодых ученых, Сборник научных трудов, 20-22 апреля 2016 г., Санкт - Петербург.

3. Георгиев, Д., *"Оптимизиране на производствения процес при добива на въглища от рудник "Обединен" и рудник "Република"*, сп. Геология и минерални ресурси, 2017 г. Приета за печат.