



УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВЕНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ПОДАВАНИТЕ ОТ РУДНИК „ТРОЯНОВО-3“ ВЪГЛИЩА

инж. Красимир Кадифейкин, k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“
инж. Георги Владиславов, g_vladislavov@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“
инж. Стилян Стоянов, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com, рудник „Трояново-3“

QUALITY INDICATOR MANAGEMENT OF THE COAL SUPPLIED BY TROYANOVO 3 MINE

Eng. Krasimir Kadifeikin, k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com, Troyanovo-3 mine
Eng. Georgi Vladislavov, g_vladislavov@r3.marica-iztok.com, Troyanovo-3 mine
Eng. Stilyan Stoyanov, stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com, Troyanovo-3 mine

ABSTRACT

The quality indicators of the coal supplied by Troyanovo-3 mine have been set out in agreements concluded with the counterparties. The coal is sampled at the mine sampling system in compliance with the requirements of BDS ISO 13909:2017 standard (Mechanical sampling from a moving stream), and its quality is determined at the Coal Chemistry Testing Laboratory, accredited in accordance with BDS EN ISO/IEC 17025:2018 standard. The sales of coal that meets customer requirements, and achieving the indicators agreed in the coal supply agreements for the reporting periods make it necessary to have a continuous coal quality indicator management process. This process consists of geological exploration operations, activities related to seam-strip sampling and borehole sampling, standardized sampling, operation control by means of the Automated Quality Control System deployed in the mine, as well as planning the mining operations by week and shift.

Полето на рудник „Трояново-3“ заема южната част на Източномаришкия въглищен басейн. В последните технически проекти рудник „Трояново-3“ е обозначен като „южна полоса“ на рудник „Трояново-юг“, а „северна полоса“ е рудник „Трояново-1“. В действителност, между двата рудника няма граничен целик, а границите по откривка и по въглища са технологични.

Общо геоложките запаси на рудник „Трояново-3“ към 01.01.2021 година възлизат на 560 303 хил.т. въглища, от които 221 694,9 хил.т. са доказаните запаси (категория 111).

Основният консуматор на въглищата от рудник „Трояново-3“ е ТЕЦ „КонтурГлобал Оперейшънс България“, с инсталирана мощност след рехабилитацията от 908 MW. Малки количества въглища се подават към „Брикел“.

Добивът на въглища от рудник „Трояново-3“ започва през 1969 година и до 30.06.2021 година са добити общо 204 907,22 мил.т.

Въгленостният комплекс в Източномаришкия басейн е съставен от три въглищни пласта, разделени от глинести междупластия. Общата дебелина на комплекса в полето на рудник „Трояново-3“ е средно от 20 m до 35 m, като постепенно намалява в южна посока, към крайнините на басейна.

В най-долната част на комплекса залягат черни глини с въглищни включения, а непосредствено над тях е III-ти въглищен пласт, със средна дебелина от 1,50 m до 2,50 m, който няма повсеместно разпространение, а в южната част на полето е с некондиционни дебелина и пепелно съдържание. Средното пепелно съдържание (пепел сухо състояние) на въглищата е до 32 %, като в южната част пепелта се увеличава до 42 %.

Над III-ти пласт заляга междупластие от слоисти тъмносиви на цвят глини, със средна дебелина от 2 m до 6 m.

Втори въглищен пласт е основният носител на въглищните запаси. Неговата средна дебелина е от 10 - 12 m в южната част на полето и достига до 15 - 16 m на север към рудник „Трояново-1“. Пепелното съдържание се изменя от 18 % до 39 %, средно 30 %.



Над горната граница на II-ри въглищен пласт залягат черни глини с дебелина от 10 до 15 m. В тях се установяват две неиздържани, маломощни въглищни пачки, които образуват I-ви въглищен пласт. Той не представлява промишлен интерес.

Въглищата от Източномаришкия басейн, включително и тези от рудник „Трояново-3“, се характеризират като меки, кафяви - лигнитен тип, с ниска степен на въглефикация на органична маса, с високо пепелно съдържание (от 16 % до 45 %) и влага от 50 % до 60 %. Въглищата се поделят на клас енергийни - пепелно съдържание на суха маса от 25 % до 45 % и клас брикетируеми - пепелно съдържание на суха маса от 16 % до 25 %. Калоричността им се изменя от 1350 kcal/kg до 1900 kcal/kg, средно около 1550 kcal/kg.

Рудник „Трояново-3“ е първоначално проектиран така, че изцяло транспортирането на откривката и въглищата да се осъществява с гумено-лентови транспортъори (ГЛТ). Участък „Добив“ е един транспортен клон, който се състои от три забойни ленти и четири магистрални, като последната е свързана с ГЛТ № 2 на ТЕЦ „КонтурГлобал Оперейшънс България“. Така въглищата се транспортират от участък „Добив“ на рудника до фигурите на открития склад на термичната централа.

В участък „Добив“ на рудник „Трояново-3“ работят общо 2 бр. многокофови роторни багери от типа SchRs 1200 и SchRs1301.26/5.0 и 2 бр. верижно-кофови багери от типа ERs 710.

Управлението на качеството на добиваните въглища е един от най-сериозните проблеми на рудника. От една страна сложността на проблема се дължи на широкия диапазон на изменение на пепелното съдържание на въглищата в пластта и изискванията, заложи в споразуменията на консуматорите. От друга страна, едновременно могат да подават въглища на лентовата система от 1 до 4 багера. Всички те работят с различна производителност и отработват забои с различно пепелно съдържание. При тези условия, прогнозирането на моментното пепелно съдържание на приемната лента е невъзможно, а при прогнозиране на пепелното съдържание за смяна се получават недопустимо големи отклонения. Тези проблеми особено се изострят при съвремените икономически условия и договорните взаимоотношения с консуматорите, в които се изисква спазването на качествените показатели на подаваните въглища.

Геолого-проучвателните дейности осигуряват допълнителна информация за качествените показатели на въглищата - съдържание на пепел сухо състояние и сярна сухо състояние и за детайлизиране на изолините на литоложките разновидности, за преоценяване на балансните запаси по въглища, за построяване на профили за стабилитетни изчисления и за окунтуряване на зоните с твърди включение и зоната на разпространение на скалната подложка в откривните хоризонти на рудник „Трояново-3“.

Геолого-сондажно проучване на въглищните запаси

Експлоатационното геолого-сондажно проучване се провежда за погъстяване на сондажната мрежа от предварителните проучвания в размер 125 m x 125 m, с цел:

- актуализиране на геоложката база данни на рудника
- преизчисляване на състоянието и движението на въглищните запаси
- съставяне на изчислителни профили и извършване на инженерно-геоложките стабилитетни изчисления на работните, подсипаните и неподсипаните неработни бордове на рудника
- съставяне на хипсометрии на долницето и горницето на въглищните пластове и междупластието
- изготвяне на инженерните проекти за развитие на минните работи
- оценка на качеството на въглищата в запасите, предстоящи за изземване

Опробване на въглищни забои. Вземане на пластово-диференциални проби

Опробването на въглищните забои и/или заходки се извършва като се вземат пластово-диференциални проби от вертикални бразди, разположени през 50 m по дължината на добивния фронт и пресичащи разкритите в заходката въглища. Всяка проба характеризира съответната пачка, или



прослойка от която е взета. Това браздово опробване се извършва преди да се осъществи добива по съответната заходка и има за цел:

- да се съставят технологични карти на заходките на всеки багер, работещ в участък „Добив” на рудника
- да се планира годишно, тримесечното, месечно, седмично и сменно качество на подаваните за консуматорите въглища
- да се планира месечната, седмичната и сменната работа на добивните багери
- да се извършва оперативното управление на качеството на добиваните въглища

Пробовземане на въглища от движещ се поток

При работа на добивните багери в участък „Добив” в рудник „Трояново-3” се извършва шихтоване на въглищата с цел постигане на изискваните и договорените с консуматорите качествени показатели. Крайният продукт от въглища (с изискуеми качествени показатели) за консуматорите се движи по събирателна лента към пункта за вземане на проби. Преди пункта за пробонабиране потокът от въглища преминава през дробилна инсталация, монтирана на събирателна транспортна лента, която раздробява въглищния поток на късове с размери до 150 mm. Вече раздробеният и хомогенизиран въглищен поток се предвижда по транспортната лента към пробовземната система. Единичните точкови проби се отделят по време (на всеки 5 min) посредством чуков пробовземач с ширина на отсекаля (широчина на процепа на пробовземача) 450 mm. Всяка точкова проба, взета от въглищния поток, представлява пълната ширина и дълбочина на потока. След отделянето на точковата проба, излишния материал, паднал в подготвителния щранг, се връща посредством обратно отвеждане в основната част от въглищния поток на транспортната лента, отвеждаща въглищния поток към основния консуматор ТЕЦ „КонтурГлобал Оперейшънс България“, или към външния въглищен склад на рудник „Трояново-3”. Отделената точкова проба посредством ъглов елеватор се предава към комплекс от делители и мелници, които последователно раздробяват пробата до 10 mm. Крайните точкови проби се събират в събирателни контейнери, които в края на всяка смяна се изваждат от събирателния пункт и посредством раздробяване до 3,15 mm, хомогенизиране и делене чрез квартоване се отделят 3 kg проба за лабораторен анализ. Раздробяването до 3,15 mm се извършва посредством ел. механична мелница.

Лабораторен анализ на въглищните проби

Анализът на въглищните проби включва определяне на качествените показатели на въглищата, които са необходими за обезпечаване на технологичните процеси по изгарянето им в термичните централи (пепел и сяра сухо и работно състояние, влага обща, долна и горна топлина на изгаряне). Окачествяването на въглищата се извършва по действащите стандарти в акредитирана Изпитвателна въглехимическа лаборатория. Резултатите от лабораторните анализи уреждат взаимоотношенията между рудника като продавач и електроенергетичните централи като купувач.

Автоматизирана ситема за управление на качеството

Разработената и внедрена в рудник „Трояново-3” система осигурява непрекъснато измерване на съдържанието на пепел и влага във въглищния поток, както и натоварването на лентата и общото количество въглища по събирателната лента. Чрез специализирания софтуер долната топлина на изгаряне (калоричност) на въглищата се изчислява online като текуща и като средна стойност. Подходящият потребителски интерфейс представя цялата информация, предоставена от системата и тя също се изпраща до информационната система в необходимия формат на данните.

Класическите (химически) методи за определяне на пепелното съдържание предоставят резултатите със значително закъснение. Тяхната точност е силно зависима от представителността на пробоотбора, а нейното осигуряване е сложен технически и технологичен проблем. Всичко това е



сериозна пречка пред ефективното управление и контрол на технологичните процеси, осъществявани при добива и изгарянето на въглища.

Изборът на радиоизотопните методи за анализ на пепелното съдържание и количеството на въглищата е продиктуван от необходимостта за получаване на непрекъснати данни с минимално закъснение, максимална представителност и при ограничена човешка намеса. Нещо повече, прилагането на други методи (химически, ултразвукови, оптически, електрически и др.) на практика е неизпълнимо при реалните експлоатационни условия - силна запрашеност, вибрации, строги противопожарни изисквания, както и във връзка с необходимостта от безконтактно измерване на силно и постоянно променяща се и движеща се среда.

Оптимално решаване на проблема за достатъчно точно online определяне на пепелното съдържание на въглища върху транспортна лента в реално време се постига чрез едновременно пролъчване с две различни енергии на лъчението на източника, при което се постига максимално елиминиране влиянието на променливите физични параметри и химичен състав на материала.

Методът се основава на закона за намаляване на γ -лъчението при преминаването му през дадена среда и се състои в измерване на съотношението между отслабванията на двете лъчения с различни енергии, условно приети за ниска и висока:

$$I = I_0 * e^{-\mu(E_\gamma, Z) * \rho(Z) * d} \quad (1)$$

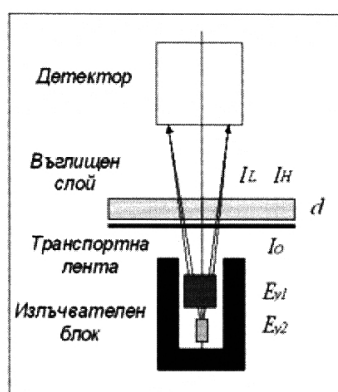
където:

- I интензитетът на преминалото през средата лъчение;
- I_0 интензитетът на лъчението при отсъствие на последната (в конкретния случай при празен транспортър);
- $r(Z)$ относителното тегло на средата, g/cm^3 ;
- d дебелината на слоя, cm;
- $\mu(E_\gamma, Z)$ коефициентът, характеризиращ отслабването на γ -лъчението от дадената среда в зависимост от неговата енергия, cm^2/g .

След логаритмуване на горното уравнение получаваме:

$$\ln(I_0) - \ln(I) = \mu(E_\gamma, Z) * \rho(Z) * d \quad (2)$$

Последният израз (2) представя отслабването на лъчението. Това отслабване е право пропорционално на количеството въглища върху лентата в kg/cm^2 . То ни дава възможност да изчисляваме непрекъснато количеството материал, преминаващо по лентата (отчета е в t/h), т.е. първата функция на уреда е лентова весна.



Фиг. 1 Схема на реализация на метода на пролъчване с две енергии

Параметърът, който се използва за определяне на пепелното съдържание, е отношението R между отслабването на ниската (L) и на високата (H) енергия. Те преминават едновременно и съосно



през въглищния слой (Фиг. 1). Чрез това отношение се елиминира влиянието на количеството и плътността на последната и се достига до зависимост само от ефективния атомен номер:

$$R = \frac{\ln(I_{Lo}) - \ln(I_L)}{\ln(I_{Ho}) - \ln(I_H)} = \frac{\mu_L}{\mu_H} = f(Z_{eff}) \quad (3)$$

От своя страна, въглищата са среда, която се състои от две различно тежки фази - горима (въгледороди) със $Z_{eff} \cong 6$, и негорима (алумосиликати, карбонати, железни оксиди и други минерали) със $Z_{eff} \cong 12$. Промяната в пепелното съдържание пряко води до изменение на Z_{eff} , т.е. R е правопрпорционално на този показател.

Разбира се, както на теория, така и на практика са налице редица негативно влияещи фактори:

- променливият химичен състав на въглищата - при големи разлики в състава на минералната фаза може да се получи едно и също Z_{eff} при суровина с различно пепелно съдържание;
- променливата едрина и влажност могат да доведат до сериозни грешки, ако не се намери начин за измерването или отчитането на тези показатели;
- статистическият характер на взаимодействието на γ -лъчите с веществото;
- зависимостта на отклика на системата като цяло от изменящите се условия на средата – климатични промени, електрически и електро-магнитни смущения и пр.

В уредите на внедрената в рудник „Трояново-З“ всеки един от тези проблеми е решен оптимално. Това е възможно благодарение на бързодействащия аналогово-цифров преобразувател, позволяващ натрупване и обработка на целия спектър на преминалото лъчение, приложния софтуер, оригиналната конструкция на блоковете за реализация на физическия принцип, както и на методиката за спектрален анализ и калибровка.

Устройство

Основните блокове на системата за измерване на пепелното съдържание и количеството на въглищата върху транспортна лента са излъчвателен, детекторен, анализаторен и компютърен. Носещата монтажна част е изработена от сглобяеми (или заварени) винкелни елементи, образуващи правоъгълна рамка. Тя обикновено се монтира вертикално, независимо от наклона на транспортната лента, която остава в рамката.

Излъчвателен блок (глава)

Разположен е под транспортната лента и съдържа двата източника на йонизиращи лъчения - радиоизотопите америций ($^{241}_{95}Am$) с енергия на γ -лъчението 59,6 keV и цезий ($^{137}_{55}Cs$) - с 661 keV.

Оловен кожух осигурява радиационната защита във всички посоки извън насочения отвесно нагоре обърнат конус на лъчението с ъгъл $\phi = 6^\circ$. В излъчвателния блок е монтиран защитен заслон, с който се осигурява пълна безопасност във всички посоки в неработно състояние (транспортиране, монтаж, ремонти и престои). Конструкцията на блока гарантира ненадвишаване на максимално допустимите еквивалентни дози и надеждна експлоатация.

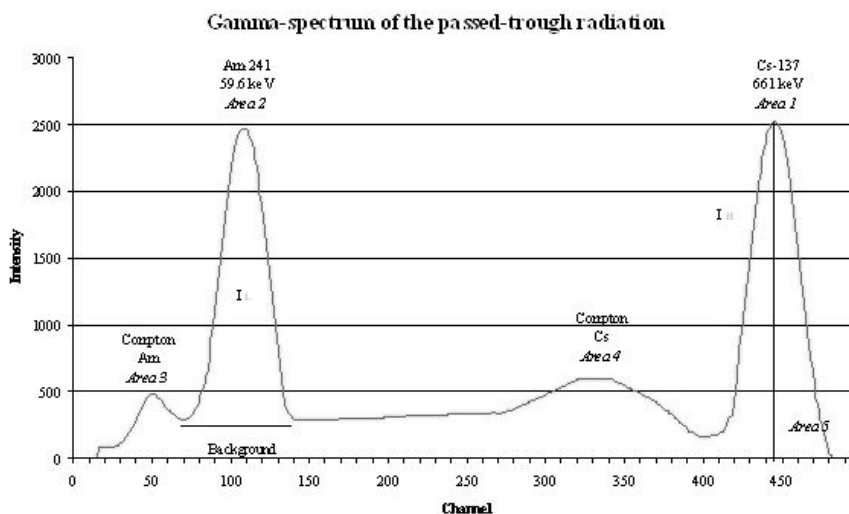
Детекторен блок

Над лентата, съсно с излъчвателната глава, е разположен контейнерът на сцинтилационния детектор, който регистрира едновременно лъчението и от двата източника. Детекторната сонда се състои от сцинтилатор, представляващ монокристал от NaI(Tl) с диаметър и височина 80 mm, и от фотоелектричен умножител (ФЕУ), инсталиран челно пред кристала. Разрешението на избрания ФЕУ по отношение на енергията на Cs-137 ($E_g = 661$ keV) е 7%. Геометрията на пролъчване дава сумарна интензивност в детектора, получена от двата изотопа при празна лента, от порядъка на $n \cdot 10^5$ imp/s. В контейнера са инсталирани и делител на високо напрежение и предусилвател на сигнала, а конструкцията му предотвратява всякакво проникване на прах и влага в детекторния блок и позволява безупречна работа в условия на силни вибрации и климатични промени.



Анализаторен блок

Разработеният бързодействащ аналого-цифров преобразувател (АЦП) позволява натрупването и обработването на статистически достоверен пълен γ -спектр в рамките на кратки периоди (примерно 1 s), които следват непрекъснато и непосредствено един след друг. АЦП прехвърля натрупания спектър в многоканалния анализатор и незабавно започва набирането на следващия, а в това време този анализатор изпълнява редица математически процедури по обработката на спектъра и извличането от него на всяка полезна информация за състава на материала. В този момент процесорът на управляващия компютър обслужва многоканалния анализатор и без осезаемо да се забавят другите функции, в рамките на милисекунди се получават текущите стойности на пепелното съдържание на въглицата и натоварването на лентата.



Фиг. 2 Пълен γ -спектр на преминалото лъчение

Самият математически модел е изчисляване на пепелното съдържание въз основа на площите на различните области от преминалия γ -спектр. На Фиг. 2 е показан γ -спектр на преминалото лъчение. Използвани са 5 характерни области за получаване на необходимата информация.

Първата област е пикът на цезия Cs (661 keV). Той се използва за стабилизиране работата на цялата система. Предварително е фиксиран номерът на канала, в който трябва да се намира центридата на този пик и ако нейното текущо местоположение се окаже различно, то чрез съответна промяна на високото напрежение, захранващо сцинтилационната сонда, се възстановява зададеното местоположение. Интегралната площ на тази област се използва за определяне на количеството въглища на лентата.

Втората област е пикът на америция Am. Тя е най-информативна по отношение на пепелното съдържание. Площите на тези два пика при празна лента (I_{L0} и I_{H0}) и под товар (I_L и I_H) са основните параметри, които в съответствие с уравнение (1) служат за изчисляване на разглеждания показател. Значително повишаване чувствителността на измерването по метода на авторите се получава благодарение на работата с „чисти“ площи на пиковите, т.е. изважда се т. нар. „подложка“, която се дължи на фактори, нямащи отношение към измерваните величини, и която, особено при значителни натоварвания на лентата, може да е дори по-голяма по интензивност от полезния сигнал.

За отчитане на променливите химичен и физически състав на въглицата по разработен алгоритъм са използвани още три спектрални области - комптоновите разсейвания на цезия Cs и на америция Am и дясната половина на цезиевия пик (така се отчита неговата деформация спрямо теоретичния му Гаусов вид). Чрез предложения алгоритъм и съответния математически модел са



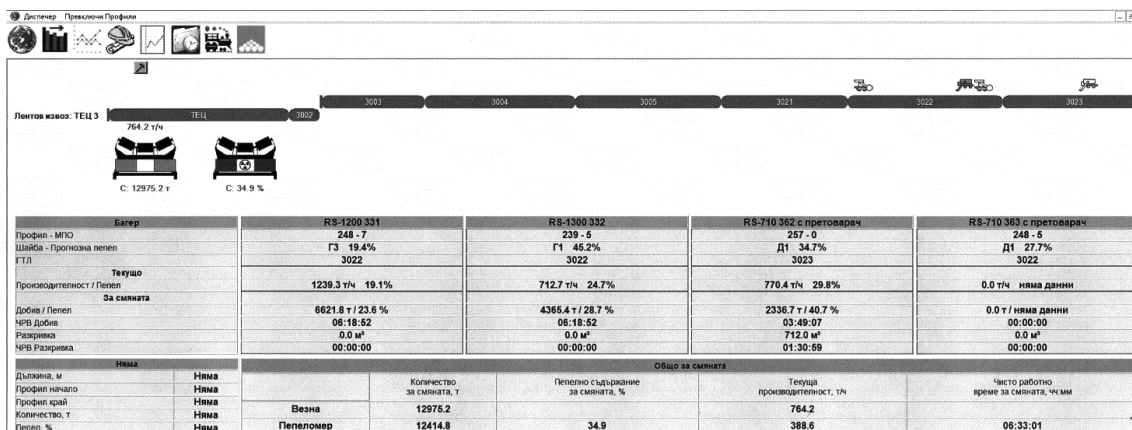
преодолени най-сериозните пречки пред прилагането на радиоизотопните пепеломери, като са получени резултати с най-висока достоверност, независимо от промените в произхода, състава, едрината и други параметри на въглищата.

Управляващ компютър

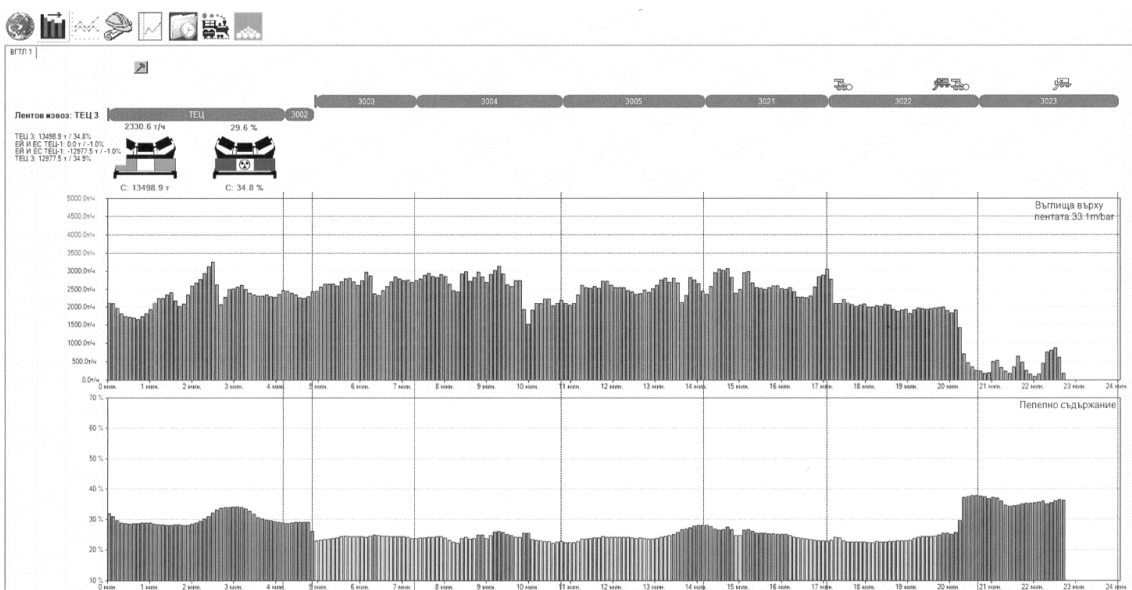
Този компютър се инсталира в кабината на манипуланта на багера, а при пепеломерите на ВГТЛ - в кутията на анализаторния блок, или в отделна кутия. Той е в индустриално изпълнение и е пригоден за работа в тежки условия - температурен диапазон, вибрации, запрашеност, влажност. Управлява работата на уреда и осъществява комуникацията със сървъра. Терминалът му има дисплей и клавиатура, чрез които манипулантът следи зададената и действителната стойности на производителността и пепелното съдържание, както и позицията на багера (профил, междупрофилни отметки, шайба, режим на работа).

Връзката на компютъра на везната-пепеломер със сървъра в диспечерския пункт се осъществява чрез радиомодем, инсталиран на мачта на багера.

Визуализация на АСУК



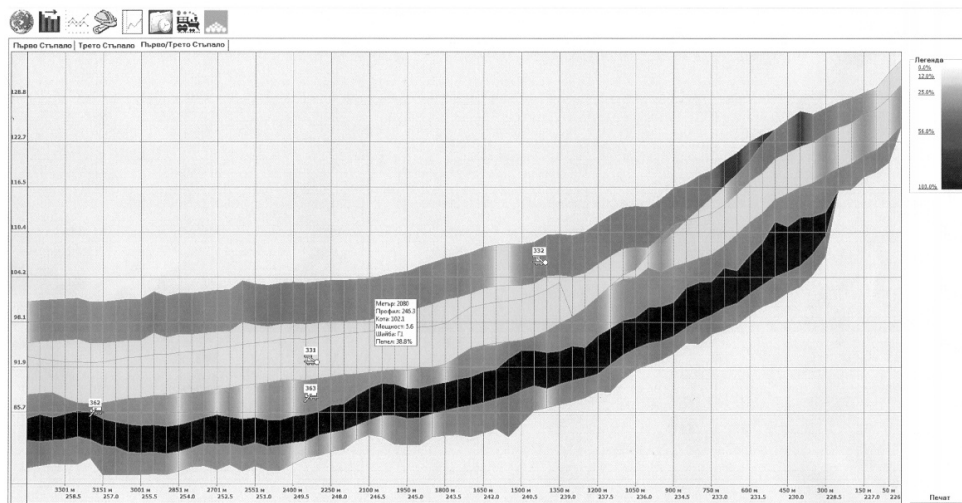
Фиг. 3 Общ вид на участък „Добив“ в рудник „Трояново-3“



Фиг. 4 Транспортен модел



Фиг. 5 Създаване на план



Фиг. 6 Геоложка карта

Изводи

Внедрената в рудник „Трояново-3“ Автоматизирана система за управление на качеството (АСУК) показва висока надеждност и точност в отчетите, при което се оптимизира прогнозирането и управлението на качеството на добиваните въглища.

Благодарение на планираните и провеждани геолого-проучвателни мероприятия, дейностите по пластово-дефиниционно и сондажно опробване, стандартизираното пробовземане, подобрения оперативен контрол и седмично планиране на добивните работи чрез АСУК, постигнатите качествени показатели на подаваните към консуматорите въглища отговарят на изискванията на консуматорите и на договорените показатели в споразуменията за доставка на въглища.