ОЦЕНКА НА ПРАХОВИТЕ ОПАСНОСТИ В ГАЛЕРИЯ ПОД ПРИЕМНИ БУНКЕРИ НА ТЕЦ

Александър Крилчев, Захари Динчев, Елена Власева, Михаил Михайлов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Образуването и отлагането на прах при различни технологични процеси влияе пряко върху безопасните и здравословни условия на труд на различните работни места и помещения, в които се извършва производствена дейност. В зависимост от размера на праховите частици, химическия и дисперсния състав се определят и основните му свойства – биологична вредност, химическа активност, експлозивна и пожарна опасност, склонност към наелектризиране и др.
В публикацията се представят и анализират изследвания за интензивността на прахоотделянето, на отлагането на праха и изменението на съдържанието на витаещ прах в галерията. За да се оцени праховата опасност е необходимо да се изследва интензивността на и отлагането от различните източници в галерията. Извършените изследвания [1] в галерия под приемни бункери на ТЕЦ "Бобов дол" обхващат процесите на доставка, разтоварване и транспорта на въглища. В статията се предлага рационална методическа последователност от измервания и анализи за характеризиране на експлозивната и хигиенна опасност на праха в галерията. Определена е интензивността на прахоотделяне и прахоотлагане от различните източници в обекта на изследване при характерна цикличност на доставка и технологично определена цикличност на транспорт (подаване) на въглищата към котелно отделение. Резултатите показват превишаване на хигиенни норми за запрашеността в обекта и опасност от създаване на експлозивна атмосфера.
Измерванията и изводите в тази публикация, представляват основа за предлагане на рационален комплекс от технически решения за управление на експлозивната и хигиенна праховата опасност, включващ намаляване на интензивността на прахоотделяне, улавяне на праха при източника, намаляване на експозицията на операторите в галерията и за безопасно събиране на отложения прах.

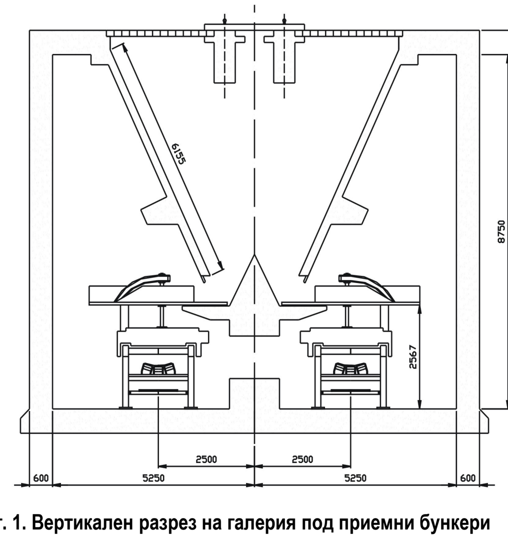
DUST RISK MANAGEMENT IN UNDERGROUND GALLERY UNDER RECEPTION SILO OF THERMAL POWER PLANT

Alexander Krilchev, Zahari Dinchev, Elena Vlasseva, Michael Michaylov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. Dust formation and settling during different technological processes affects safety and health work conditions at different work places and production premises. In accordance with dust particles size, its chemical and dispersed structure, main characteristics – biological hazard, chemical activity, fire and explosion risks, are evaluated.
In this first part of bigger publication dust intensity liberation, settling and dispersion are studies and analyzed in order to evaluate dust risk in the gallery under reception silo in Thermo Power Plant "Bobov dol". These are examined during all technological processes presented – coal reception, uploading and transport. Paper presents reasonable methodological sequence consisting of measurements and analyses targeted toward dust hygiene and explosion hazard evaluation. Dust liberation and settling intensity reflecting coal delivery and transport to boilers cycles are described. Obtained results clearly show increased risk of explosion atmosphere formation and dust concentration above hygiene limits.
Dust hazard management include complex of technical solutions for dust liberation reduction, dust aspiration at the source, exposure reduction for operating personnel and safety cleaning of settled dust, which are presented in the second part of this publication.

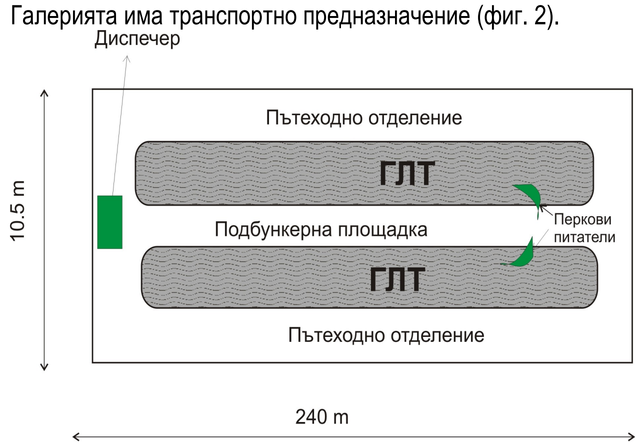
Обща характеристика на обекта

Обектът представлява подземна галерия с правоъгълно сечение и размери, показани на разрезите на фиг.1 и фиг.2. Стоманобетоновата конструкция на тавана на галерията оформя площадка на терена, приета по-нататък в текста за условна к.+0,00. Пода на галерията е на к.-9,30. Приемните бункери с трапецовидна форма са разположени между напречна ос 3 и ос 39, които стесняват горната част на сечението на галерията до к.-6,00. (фиг.1).



Фиг. 1. Вертикален разрез на галерия под приемни бункери

Галерията има транспортно предназначение (фиг. 2).



Фиг. 2. Хоризонтален разрез на галерията

Режим на работа на приемни бункери. В приемните бункери постъпват кафяви и лигнитни въглища от Бобовдолския, Софийския, Пернишкия и Ораново-Симитлийския басейни и от Мина Катрище. Въглищата са с високо съдържание на летливи вещества.
В приемни бункери, по данни от цех "Въглеподаване", се разтоварват (фиг.3) средно 110 вагона за денонощие натоварени с 51 до 57 тона въглища.
Максималното денонощно натоварване на бункерите достига 130 вагона за 24 часа при среден товар от 54 тона/ вагон. Денонощно в бункерите постъпват въглища:

- средно 5950 t/day
- максимално 7050 t/day

Фиг. 3. Разтоварване на вагоните с въглища на приемния бункер над галерията

Прахоизточници

Технологично в обекта има два основни източника на прах:

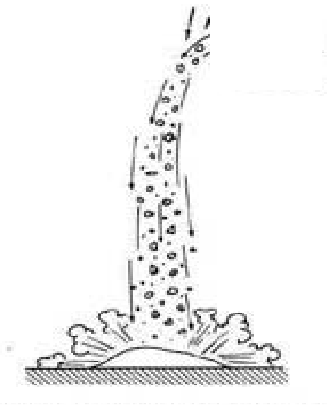
- източник D1 - бункерът в който се разтоварва вагона;

- източник D2 - питателя който натоварва въглищата от площадката на к.-6,80 върху ГЛТ.

Източник D1 следва избрания за разтоварване бункер, докато източник D2 следва работното положение на перковия питател. Отсъствието на принудителна вентилация в помещението определя пътя на разпространение и отлагане на праха. При D1 праха се издухва като разпределен по дължината на бункера, в който се разтоварват въглищата, източник насочен към близката стена на галерията. След това поради отсъствието на организирано проветряване облакът се разширява успоредно на оста на галерията, едрият прах се отлага, а финият витае под действие на слабите конвективни потоци от вътрешни източници и от движението на транспортната лента.

Източник D2 генерира прах при натоварване на въглищата върху транспортьора. Движението на перковия питател формира под действие на буталния ефект въздушен поток. Под неговото действие и дифузионното разсейване (фиг.4) се наблюдава непрекъснато нарастване на праховия облак пред питателя. Това изпреварващо движение на праха продължава докато запълни дължината на цялата галерия в половината от сечението в което работи питателя, с нарастване на запрашеността. Праха се разпространява и утаява по дължината на галерията. Не бива да се забравя, че най-опасната за здравето на хората фракция на този прах е невидима за невъоръжено око.

Двата източника - при перките на питателя (D2) и при падане на материала върху лентата на транспортьора (D1) предопределят изследване на отложен (утаен) прах – аерогел и разпръснат дисперсно във въздушната среда на обекта витаещ прах – аерозол. Определяне на запрашеността на работната среда в галерията на утаен и на витаещ прах е извършено в описаната по-долу последователност.



Фиг. 4. Разпространение на прах при падане от весочина

Интензивност на отлагане на праха. Измерване на масата на утаен прах се извършва за намиране на интензивността на отлагане и разпределението му в следната последователност:

- поставят се еднакви по размер планшети (с площ 0.7 m^2) 18 на брой, разположени равномерно по пътеходните отделения, между питателите и върху кабината на диспечера ;
- планшетите (фиг.5) се оставят за определено време (например 48 или 72 часа);
- измерва се масата на отложения върху планшетите прах [g];
- определя се концентрацията в точките на вземане на пробите;
- определя се средна, максимална и минимална маса на отложения върху пода на обекта прах;
- с програмен пакет SURFER се изчертават изолинните на концентрациите и се анализират причините за получените зони с превишения
- търси се корелационна връзка между броя разтоварени вагони, количеството разтоварени въглища и отложения прах във времето. Така се получават прогнозни резултати при различен режим на работа – натоварване на приемни бункери.

Измерванията за отлагане на праха в обекта бяха извършени през три периода, показани в табл. 2, и в съответствие с описаната последователност. Планшетите (фиг.5) бяха регулярно разположени по площта на пътеходните отделения и между транспортьорите. Резултатите от измерването са представени в предпоследната колона на таблица 3, а изчислените по намерената корелационна зависимост – са означени като “прогноза” в последната колона. Разпределението на отложения прах за целия период е обобщено на фиг.6, а в табл.4 са представени статистическите данни за шест денонощия. Графиките и данните в таблицата за денонощното отлагане на прах демонстрират изключително голяма неравномерност. В зоните с най-голямо прахоотлагане дневната интензивност на отлагане на праха е 4.5 пъти по-голяма от осреднената за цялата площ на галерията. Този факт трябва да бъде отчетен при определяне на периода за отстраняване на отложения прах. От гледна точка на безопасност, при изчисляване на периода между две почиствания на праха, освен общото прахоотлагане в галерията, което характеризира времето за натрупване на достатъчно прах, който може да образува взривоопасно концентрация в целия свободен (въздушен) обем, трябва да се вземат предвид и зоните с максимално прахоотлагане и възможността вдигнатия от тях прах да създаде взривоопасни концентрации в значимо голям обем от галерията.

Таблица 2

Период на измерването			Разтоварени въглища [тона]	Разтоварени вагони [брой]	Работа на питателите		
начало	край	Продължителност [часове]			ПП2А [min]	ПП2Б [min]	ОБЩО [h]
30.07.06	02.08.06	72	8316	154	580	610	19,83
02.08.06	04.08.06	47,6	6804	126	755	500	20,92
04.08.06	06.08.06	47,2	7236	145	465	632	18,25
Общо		**166,8**	**22356**	**425**	**1800**	**1742**	**58,90**

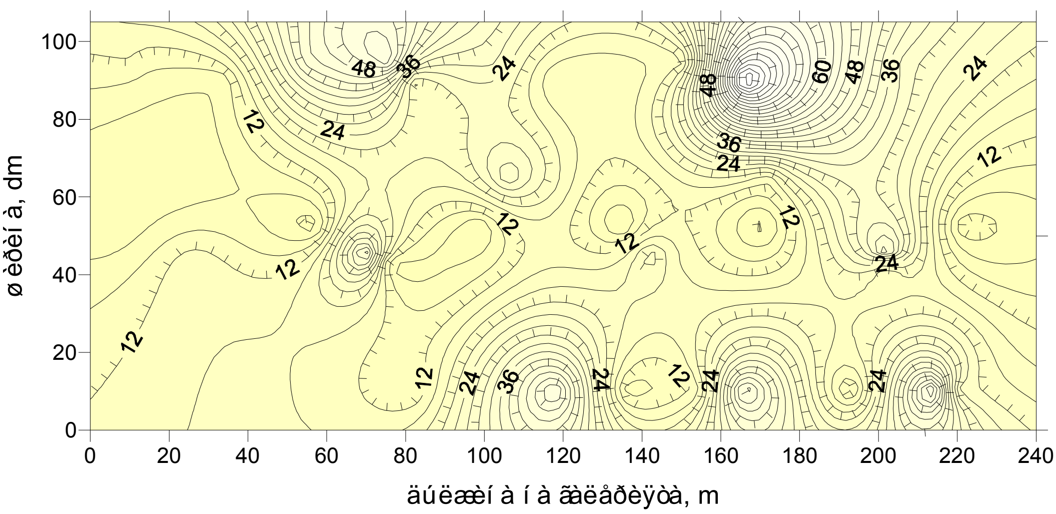
Фиг. 5. Положение на планшетите за вземане на проби за отложен прах

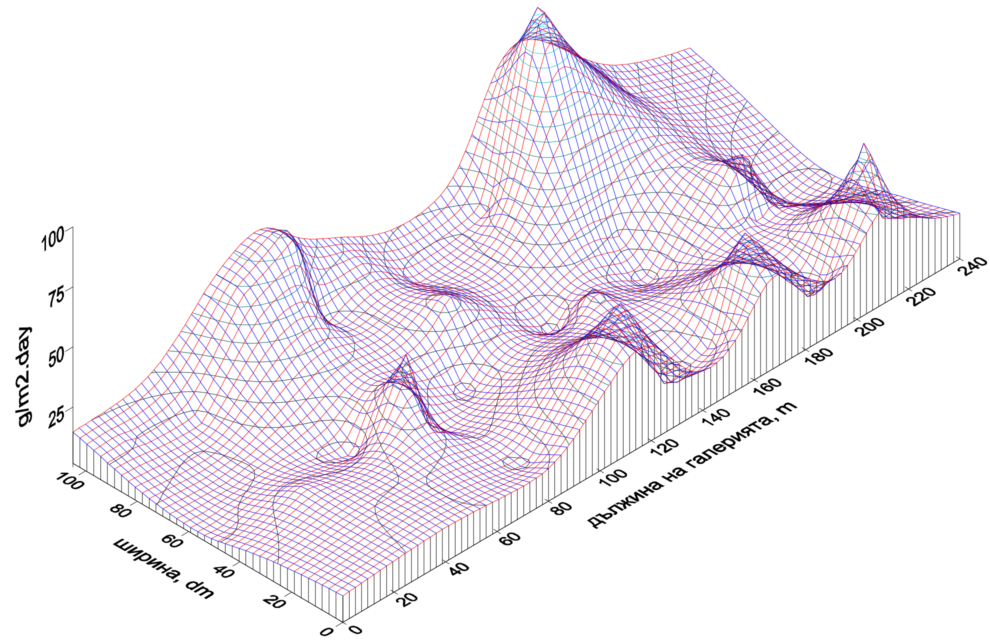
Таблица 3

[броя/ден]Разтовар. вагони	[тона/ден]Разтовар.въглища	[часа/ден]Работа на питателите,	Отложен прах в галерията [кг/денонощие]	
			измерен	прогноза
46	2500	6	-	**21,7-21,2**
51,5	***2772***	***6,6***	***33,32***	33,4
63	***3403***	***10,042***	***59,61***	59,6
67	***3618***	***9,142***	***70,33***	70,4
83	4500	11,00	-	**108,3-109,6**
93	5000	13,00	-	**127,7-131,0**
100	5400	14,50	-	**142,5-148,3**
111	6000	16,00	-	**167,5-174,8**
130	7000	18,00	-	**211,8-219,4**

Таблица 4

Период за измерване	30.07.04 - 06.08.04 (216 часа)	
Обработени вагони за периода (шест денонощия)	броя	425
Разтоварени въглища през периода	тона	22 356
Средно денонощно натоварване на приемни бункери	ваг./24 ч. тона/24 ч.	70.8 3 726
Средноденонощна работа на ляв питател ПП2А	мин./24 ч.	268
Средноденонощна работа на десен питател ПП2Б	мин./24 ч.	256
Отложен прах за 24 часа през периода	***kg/day***	**54.42**
➲ *средно за цялата площ*	***g/m².day***	***22.22***
➲ *максимално по площта на пода*	***g/m².day***	***99.47***
➲ *минимално по площта на пода*	***g/m².day***	***0.56***





Фиг.6. Разпределение на прахоотлагането по площта на галерията

На основата на получените резултати за теглото на отложения прах в зависимост от разтоварените въглища и времето на работа на питателите беше разработен модел за прогнозиране на очакваното прахоотлагане при по-големи натоварвания на приемни бункери. В последната колона на таблица 3 са дадени прогнозираните с модела стойности за денонощното отлагане на прах при разтоварване на 25 до 100 вагона дневно.

Теглото на отложения прах нараства от 22 до 142 kg за денонощие-за 100 вагона и не превишава 220 kg/денонощие при максимално разтоварване на 130 вагона, както се вижда от прогнозата в последната колона на таблица 3.

Характеристики на отложения прах. Резултатите от техническия анализ на отложения, през трите периода описани в табл.2, прах са показани в табл.4. Влажността на отложения прах се изменя от 10% до 13%, пепелното съдържание - от 34% до 49%, а съдържанието на летливи вещества - от 54% до 72%.

Таблица 5

Характе-ристика	Средна стойност в периода, %	Диапазон на изменение в периода, %	
		min	max
ВЛАГА	11,61 ± 0,91	9,8	12,3
	12,4 ± 0,62	10,2	13,1
	13,5 ± 0,74	11,0	13,9
ПЕПЕЛ	40,9 ± 5,05	33,7	49,3
	45,6 ± 3,42	35,8	48,9
	42,1 ± 4,55	34,9	47,8
ЛЕТЛИВИ ВЕЩЕСТВА	65,6 ± 5,04	53,76	72,28
	62,36 ± 5,52	54,16	72,48
	63,73 ± 4,83	55,22	70,95

Зърнометричния състав на шест проби от отложения прах през трите периода (табл.2) е представен в табл.5.

Таблица 6

ФРАКЦИЯ [μm]				Разсей-ване
-50	+50-63	+63-71	+71	%
22,68%	25,30%	14,80%	36,28%	0,96
22,28%	25,54%	14,94%	38,63	0,01
11,70%	15,60%	6,22%	32,19%	3,10
12,18%	16,24%	6,48%	64,94	0,16
7,28%	18,32%	15,50%	57,32	1,58
7,40%	18,61%	15,74%	58,23%	0,02

Участието на фракцията под 50 μm се колебае между 7.28% и 22.68%, а под 71 μm достига 63%. Зърнометричния състав на отложения прах показва, че освен взривна опасност при вдигането и турбулизирането му той представлява и значима хигиенна опасност. Повече от половината от отложения прах попада по зърнометричен състав в т.н. инхалабилна фракция.

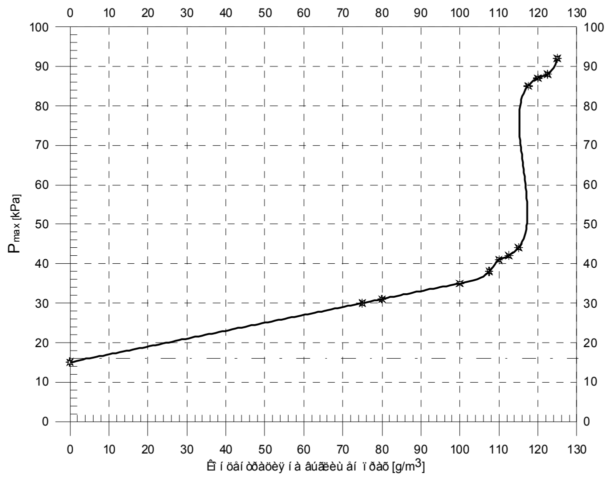
Експлозивна опасност. За характеризиране на взривоопасните свойства на праха при шихтоване на въглищата със значимо различна степен на метаморфизъм са необходими продължителни и обемни изследвания по ISO стандарти[2,3], приети и за европейски (EN) норми[4]. Към времето на това изследване апаратура за такива изследвания в страната нямаше, поради което бяха взети две проби - от въглищата в 6 бункера и от отложен прах. Резултатите от изследването в 20 литров цилиндър са показани в таблица 7. Изпитванията са проведени с въглищен прах – фракция под 63 μm.

Зависимостите на влиянието на концентрацията на прах върху двете характеристики на процесите във взривната камера са показани на фиг.9 и фиг.10.

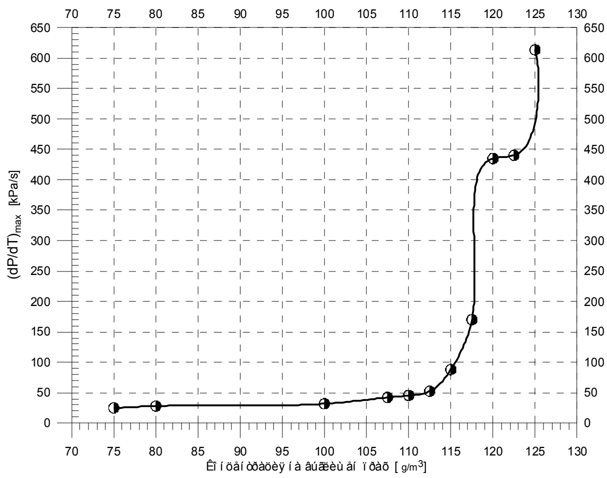
Според протокола от изследванията [5] **ДГВ на праха е определена на 120 g/m³**. За нуждите на проектирането, на основание данните на фиг.фиг.9-10 обаче, считаме че трябва да се работи с **долна експлозивна граница на праха от 115 g/m³**.

Таблица 7

Номер на опита	Концентрация C [g/m³]	Налягане P_{max} [kPa]	Време T [s]	dP/dT [kPa/s]	Ефект
1	0	15	4	3.8	празен ход
2	75	30	1.2	25.0	без пламък
3	80	31	1.1	28.2	без пламък
4	100	**35**	1.1	**31.8**	**пламък**
5	107.5	**38**	0.9	**42.2**	**пламък**
6	110	**41**	0.9	**45.6**	**пламък**
7	112.5	**42**	0.8	**52.5**	**пламък**
12	115	**44**	0.5	**88.0**	**силен пламък**
11	117.5	**85**	0.5	**170.0**	**силен пламък**
10	120	**87**	0.2	**435.0**	ЕКСПЛОЗИЯ
13	120	**87**	0.2	**435.0**	ЕКСПЛОЗИЯ
9	122.5	**88**	0.2	**440.0**	ЕКСПЛОЗИЯ
8	125	**92**	0.15	**613.3**	ЕКСПЛОЗИЯ



Фиг. 9.



Фиг. 10.

При максимално натоварване в продължение на от една седмица може да се отложи прах, който при вдигането си да създаде взривоопасна концентрация в целия свободен обем на галерията.

При обработка на 70 вагона за един ден отложения през денонощието прах е достатъчен за да създаде взривоопасна концентрация в 5%-тния свободен обем на галерията.

Хигиенна опасност

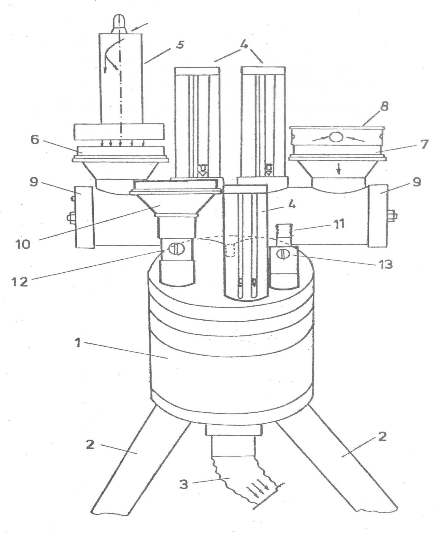
Определяне запрашеността на въздуха. Измерване на запрашеността на въздушната среда (общ и фин прах) се извършва в следната последователност:

- ☑ монтира се уред АП-1[6], показан на фиг.7а и фиг.7б. Дебита на преминаващия през прибора въздух е 35-45 l/min. Уреда се монтира на 1.7 m от пода – в зоната на дишане на работниците и в зоната на перковия питател;
- ☑ система от два филтъра и циклон задържа финия и общ прах в прибора;
- ☑ премерва се масата на филтрите преди и след измерването [g];
- ☑ изчислява се концентрацията [g/m³];
- ☑ същите измервания се повтарят на друго място, където преминават или работят хора;

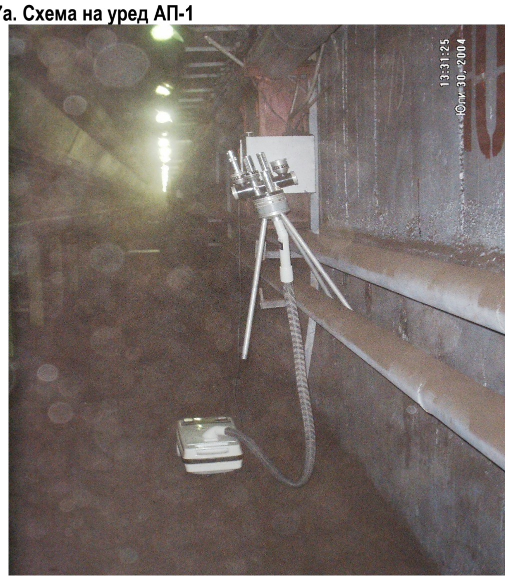
Витаещият прах, за нуждите на това изследване и произтичащите от него технически решения, е оценен в две положения:

- ➢ в зоната на дишане на човека – оператор;
- ➢ в зоната на перковите питатели.

Витаещ прах в зоната на дишане на човека. Измерванията на общ и фин прах са проведени от 2 до 6 август 2006г. Пробите са взети в района на 10 бункера, на 1,65 m от пода и 0,45 m от стената на галерията. Пробите са вземани в средата на галерията (фиг.5б), а получените резултати са представени в табл.7. От получените резултати се вижда, че превишената на ПДК за 8 часова работна смяна са три пъти по-чести и до 2 пъти по-големи за фин прах, отколкото за общ прах.



Фиг. 7а. Схема на уред АП-1



Фиг. 7б. Вземане на проби за общ и фин прах с АП-1 в галерията

Този резултат е много важен за избора на технически решения за намаляване на експозицията на прах. Например една мощна аспирационна система може да намали чувствително общата запрашеност в галерията, без да повлияе значително върху концентрацията на фин прах. Големите скорости на засмукване могат да увеличат постъпването на фин прах във въздуха и да компрометират хигиенната ефективност на аспирационната уредба.

Граничната концентрация (ГС) на праха [7] е коригирана за 12 часова работна смяна от гледна точка на денонощната експозиция [8] по зависимостта:

$$\text{ГС}_{12} = \frac{8}{12} \cdot \text{ГС}_8 \left[mg/m^3 \right]$$

където: $\text{ГС}_8 = 10\ mg/m^3$ - на общ прах;
$\text{ГС}_{f8} = 4\ mg/m^3$ – на фин прах.

Това пренормиране на допустимата прахова концентрация има значение за определяне на проектната ефективност на предлаганите технически решения. Те трябва да намалят поне 3 пъти общата запрашеност и концентрацията на фин прах във вдишвания от оператора въздух.

Концентрацията на общ прах във въздуха непосредствено до транспортьора и в зоната над питателя превишават дадените в таблица 4 от 2 до 8 - 10 пъти. Това характеризира условията при които ще работи всяка прахосмукаща уредба в зоната на питателите и течките. След изчерпване на възможностите за намаляване на прахообразуването при натоварване върху лентата усилията за намиране на ефективно техническо решение трябва да се насочат към улавяне на праха при източника. Тогава аспирационната уредба може да засмуква запрашен въздух с концентрации до 150 mg/m^3.

Концентрацията на фин прах в зоната на дишане на операторите превишава нормираната от 1.6 до 2.2 пъти. Въпреки, че това не е средносменна стойност наренните пикове изискват да се провери съдържанието на свободен силициев диоксид във финния прах. Наличието на високопепелни въглища, доставяни от различни рудници с открит добив поставят въпроса и за източника на набогатяване на праха със свободен силициев диоксид. Това не са непременно най-високопепелните въглища, които постъпват в централата.

Таблица 8

ПРОБА				ОБЩ ПРАХ			ФИН ПРАХ		
дата	обем Vo [m^3]	време t [min]	дебит Qo [dm^3/min]	маса dG [mg]	Концен-трация **Cg** [mg/m^3]	Превишение Cg/ГС_{12}	маса dG_f [mg]	Концен-трация $\mathbf{C_f}$ [mg/m^3]	Превишение $C_f/\text{ГС}_{12}$
02.8.2006	3.162	90	35.14	47.6	**15.05**	**2.26**	13.7	**4.33**	**1.62**
03.8.2006	4.216	120	35.14	38.6	**9.16**	**1.37**	24.6	**5.83**	**2.19**
04.8.2006	11.921	340	35.06	93.2	**7.82**	**1.17**	19	**1.59**	**0.60**
06.8.2006	15.571	445	34.99	133.7	**8.59**	**1.29**	79.7	**5.12**	**1.92**

Заключение

В галериите под приемните бункери на ТЕЦ се идентифицират и двете опасности на въглищния прах:

- ☑ за безопасността на хората и съоръженията – експлозивна опасност;
- ☑ за здравето на персонала – хигиенна опасност.

Управлението на тези две опасности с инженерни и административни решения изисква статистически точно характеризиране на разпределението на източниците на прах, на витаещия и отложения прах, във времето и пространството на галерията. Колкото повече са доставчиците на въглища от различни басейни, толкова по продължителни трябва да бъдат наблюденията за получаване на статистически представителна информация.

Познаването на количественото разпределение на отложения и витаещия прах в галерията е необходимо както за избора на вида на техническите и административни решения, така и за тяхното оразмеряване.

Техническата и икономическа логика изискват най-напред да се проектират решения, които намаляват прахоотделянето от източника и след това да се пристъпи към конструиране и оразмеряване на аспирационни системи. Самото прахоотделяне и улавяне на праха зависят от характеристики на праха, които в общия случай правят невъзможно пренасяне на готови решения. За оразмеряване на аспирационните системи в галериите принципът "колкото повече-толкова по-ефективно" не е приложим, защото преоразмерените системи увеличават интензивността на прахоотделяне, чрез вдигане на допълнително количество прах.

В теорията и изследователската практика няма установени зависимости за влиянието на техническите характеристики на въглища с различен състав и степен на метаморфизъм върху характеристиките на пожарната и експлозивна опасност на шихтата от тях. Това означава, че характеристиките на експлозивната опасност на прахове, получени от смеси на въглища с различна степен на метаморфизъм, трябва да бъдат изследвани в диапазона на практическото им съотношение на смесване в централата.

Другата възможност, от гледна точка на експлозивната опасност, е за всяка от изследваните характеристики на въглищата да се приеме най-тежката получена стойност, например:

- най-ниска долна експлозивна граница на праховъздушната смес;
- най-ниска температура на взривяване на прахов облак;
- най-ниска температура на тлеене на прахов слой;
- най- ниска температура на самозапалване на праха,

за въглищните прахове от всички доставчици на въглища в централата.

Използваните в галерия под приемни бункери електрически съоръжения и апарати трябва да бъдат съобразени със зоните на прахова експлозивна опасност [9]. Това налага да се извърши зониране на галериите по прахова експлозивна опасност, за да се оцени съответствието на електрическите съоръжения и апарати.

Необходимостта от изследвания за определяне на съдържанието на свободен силициев диоксид във финия прах е безусловна, за да се оцени нормативно здравния прахов риск.

Литература

[1] Доклад по договор 1900-Технически решения за дегазиране на КРУ-1 и КРУ-2 и за намаляване на праховата опасност в приемни бункери на въглеподаването; *Етап 2:* Изследвания за предлагане на технически решения за намаляване на експозицията на прах в приемни бункери на покритото разтоварище, Архив на НИС, Минно-геоложки университет"Св.Иван Рилски"-София.

[2] ASTM E 1491. Standard Test Method for Minimum Ignition Temperature of Dust Clouds

[3] ASTM E 2021 Standard Test Method for Hot-Surface Ignition Temperature of Dust Layers

[4] ASTM E 1226 Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts

[5] Протокол № 123/09.08.04г. на Акредитирания изпитателен център "Минпроект"-Драгичево.

[6] Хигитест Инструкция за работа с АП-1.

[7] НАРЕДБА № 13от 31.12.03. за Защита на работещите от рискове, свързани с експозицията на химични агенти при работа.

[8] M. Michaylov, **E. Vlasseva**, Adjustment of unusual exposure limits for contaminants in mine, Proc. International scientific session "Management of natural and technogenic risks", 4-8 June 2001, University of Mining&Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria, p. 37-44

[9] EN 61241. Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust. Part 10 Classification of areas where combustible dust are or may be present.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Руднична вентилация и техническа безопасност", МТФ