

**МИННО – ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ  
“СВ. ИВАН РИЛСКИ”**

**Минно - Технологичен факултет**

**инж. Александър Иванов Крилчев**

**ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ  
ЕНДОГЕННИ ПОЖАРИ  
В НАСИПИЩА, СКЛАДОВЕ И БУНКЕРИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на

**ДИСЕРТАЦИЯ**

**ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН**

**“ДОКТОР”**

**Професионално направление “Проучване, добив и обработка  
на полезни изкопаеми”, шифър 5.8**

**Научна специалност “Техника на безопасността  
и противопожарна техника”**

**София 2012**

# СЪДЪРЖАНИЕ

## АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

ГЛАВА ПЪРВА Състояние на проблема в съвременната наука и практика .....2

*Раздел 1.1 Методи за оценка на опасността от самозапалване* .....2

*Раздел 1.2 Сценарии на развитие на самозапалванията* .....3

*Раздел 1.3. Самозапалвания и експлозии* .....6

*Раздел 1.4. Методи за управление на опасността от самозапалване* .....7

ГЛАВА ВТОРА Цел и задачи на дисертационния труд .....9

ГЛАВА ТРЕТА Лабораторни изследвания на различни температурни характеристики .....11

*Раздел 3.1. Определяне минималната температура на екзотермично разлагане на праховете/.....12*

*Раздел 3.2. Минималната температура на тлеене на прахов слой* .....14

*Раздел 3.3. Определяне минималната температура на възпламеняване на праховъздушни смеси* .....17

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА Полеви изследвания на процесите на самозапалване .....18

ГЛАВА ПЕТА Физическо и числено моделиране на ветровото натоварване на складове за въглища .....22

*Раздел 5.1. Физическо моделиране* .....23

*Раздел 5.2. Числено моделиране* .....26

*Раздел 5.3. Изследване влиянието на ветровото натоварване при промяна положението на склада спрямо основната посока на вятъра* .....28

ГЛАВА ШЕСТА Изследване проницаемостта на въздуха през порести среди .....31

*Раздел 6.1. Физическо моделиране* .....31

*Раздел 6.2. Математическо моделиране* .....33

*Раздел 6.3. Влияние на хидрогела при инжектиране и покриване на пожарни огнища* .....35

ГЛАВА СЕДМА Нов агент за профилактика и гасене на ендогенни пожари .....38

*Раздел 7.1. Лабораторни изследвания на хидрогел* .....38

|   |    |
|---|----|
| <i>Раздел 7.2. Руднични изследвания за дехидратация на гела</i>   | 40 |
| <i>Раздел 7.3. Охлаждане на въглищата с хидрогел</i>  | 42 |
| <b>ГЛАВА ОСМА</b> Полупромишлен експеримент за изследване<br>поведението на хидрогела при гасене на пожари          | 46 |
| <i>Раздел 8.1. Пилотни опити за поведение на гела<br/>        при горене</i>  | 47 |
| <i>Раздел 8.2. Полупромишлен експеримент за гасене на пожари с<br/>        гелообразуващи състави</i>               | 47 |
| <i>Раздел 8.3. Сравнителен анализ на резултатите</i>  | 54 |
| <b>ГЛАВА ДЕВЕТА</b> Управление на риска от самозапалване  | 54 |
| <i>Раздел 9.1. Мероприятия за намаляване риска от самозапалване<br/>        в складове</i>                          | 54 |
| <i>Раздел 9.2. Управление на риска от самозапалвания в бункери и<br/>        силози</i>                             | 57 |
| <i>Раздел 9.3. Технологични схеми за профилактика и гасене на<br/>        ендогенни пожари при добив на въглища</i> | 59 |
| <b>ГЛАВА ДЕСЕТА</b> Управление на риска от експлозии  | 60 |
| <b>ГЛАВА ЕДИНАДЕСЕТА</b> Икономическа оценка  | 65 |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>   | 68 |

## АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Съвременното потребление на въглищата е свързано с производството на електроенергия от ТЕЦ, бездимно гориво, графит, катран, нитрохуминови торове и восъци. Важно е обаче да се отбележи, че при използване им в различните отрасли съществува един основен проблем, свързан с отделянето и изхвърлянето на вредни емисии във въздуха – въглероден диоксид ( $\text{CO}_2$ ), азотни окиси ( $\text{NO}_x$ ), серни окиси ( $\text{SO}_x$ ), твърди частици и др.

Основната опасност при добива и съхранение на въглищата е склоността им към samozапалването. Възникването и развитието на такъв процес може да доведе до значителни загуби, както на суровина така и на машини и съоразения. Освен това samozапалването може да стане и източник за възникване на различни експлозии – прахови или газови. Като най - склонни към samozапалвания са категоризирани кафявите въглища.

При samozапалване в складове, бункери, силози и насипища в атмосферата се отделят огромни количества продукти на горенето – газове и дим, като ги превръща в запалими източници на експлозивни смеси.

В котловините на негодлемите открити рудници има случаи, когато димът от ендогенни пожари спира работата на рудника.

Втората по честота, но не и по последици опасност на въглищата е експлозивността на въглищния прах. В индустриално развитите държави този проблем се разглежда като част от общата експлозивна опасност на промишлените прахове. Изследванията се фокусират върху развитието на лабораторните емпирични методи за оценка на опасните свойство на малки проби от веществата. За оценка на взривоопасните характеристики на въглищния прах обаче липсват единни методики за изследването и не са разработени сигурни аналитико-изчислителни методи за оценка на риска.

При складирането и механичната преработка на въглищата тези две най-големи опасности присъстват заедно, особено в топлоелектрическите централи и в складовете на въглища на мините.

В Европа се наблюдава покачване на дела на прахообразното гориво в пазара на въглища. Пионер в тази насока е Германия, където прахообразното гориво замени брикетите в бившата ГДР. Може да се предвиди, че тази тенденция ще се появи и в България, при което опасността от samozапалване и експлозия на въглищен прах ще нарасне мащабно.

Намаляването на риска от samozапалване и експлозия във всички форми на складиране на въглища е актуална задача, която изисква комплексно изучаване на особеностите на развитие на топлофизическите процеси на samozапалване и на експлозивността на полидисперсните въглищни прахове. Само на такава основа могат да бъдат намерени по-ефективни методи, технологии и агенти за намаляване на ендогенните пожари и прахови експлозии в складове, бункери и силози за въглища.

# ГЛАВА ПЪРВА

## СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА В СЪВРЕМЕННАТА НАУКА И ПРАКТИКА

### Раздел 1.1

#### МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА ОТ САМОЗАПАЛВАНЕ

На основата на съвременната представа за механизма на окисляване и молекулната структура на въглищата се смята, че склонността към samozапалване зависи от големината на сорбционната повърхност и нейната активност, която зависи от структурата и състава на въглищата. Във връзка с това се прави изводът, че всички методи, основаващи се на определянето на големината и активността на сорбционната повърхност на структурата и състава на въглищата, характеризират склонността им към samozапалване. Методите, основаващи се на окисляването на въглищата с кислород от въздуха при термични условия, се препоръчват като най-подходящи за изследване, тъй като те имат висока сорбционна способност.

- ✚ **Метод на Мак НИИ;**
- ✚ **Метод на ИГД „А.А.Скочински“;**
- ✚ **Метод на Олпински /Полша/;**
- ✚ **Метод на Халупа и Драбек;**
- ✚ **Перхидролов метод.**

След възникване на процес на samozапалване съществува опасност от развитие на процеса и преминаването му от горене към експлозия. Намаляването на риска от тези процеси е свързано с премахване на редица условия, което ще доведе до намаляване на опасността от възникването им. В тази връзка усилията за намаляване на опасността от възникване на самонагриване и samozапалване трябва да бъдат насочени към:

- ✓ познаване на взриво - пожароопасните характеристики на горимите прахове;
- ✓ премахване или минимизиране на причините за възникване на тези условия;

От друга страна експлозиите на различни органични прахове, които възникват в бункери, силози, мелници и други обекти в повечето случаи могат да възникнат от огнище на samozапалване на праха. За намаляване на риска от възникване на такива аварии е необходимо познаването на експлозивните характеристики на различни по състав прахови смеси. При изследване на проблема, свързан със samozапалването на въглищата и праховете, са извършени изследвания за определяне на взривоопасните характеристики на горими прахове от различни миннодобивни предприятия. Катедра “Руднична вентилация и техническа безопасност” разполага с единствена по рода си в страната апаратура и стендове за определяне на някои от пожарни и взривни характеристики на горимите прахове а именно:

1. Пещ на GREWER;
2. Пещ на BAM;
3. Стенд за определяне минималната температура на тлеене на прахови слоеве;
4. Стенд за определяне склонността на насипни материали към samozапалване;

Различните изследвания дават възможност за изясняване на връзката между съдържанието на различните горими и негорими компоненти в праховете и склонността им към samozапалване и възпламеняване.

## Раздел 1.2

### СЦЕНАРИИ НА РАЗВИТИЕ НА САМОЗАПАЛВАНИЯТА

#### 1. Общи сведения за механизма на възникване самозапалванията

От съществено значение за предотвратяване на ендогенните пожари при съхранението на въглищата в складове и бункери е познаването на механизма на самозапалване на въглищата и категоризирането им спрямо тази опасност.

Познати са много теории и хипотези за самозапалването на въглищата. Най-разпространени са пиритната, бактериалната, фенолната, фюзено-пиритната и теорията за комплекса въглища-кислород.

Възникването на самонагриване и самозапалване е сложен физико-химичен процес. Началната фаза на възникване на самонагриване във въглищата е нискотемпературно им окисление.

За възникване на процес на самозапалване е необходимо:

1/ окисление на въглищата при ниски температури /химическа активност/;

2/ приток на въздух/ кислород/ до мястото на окисляване;

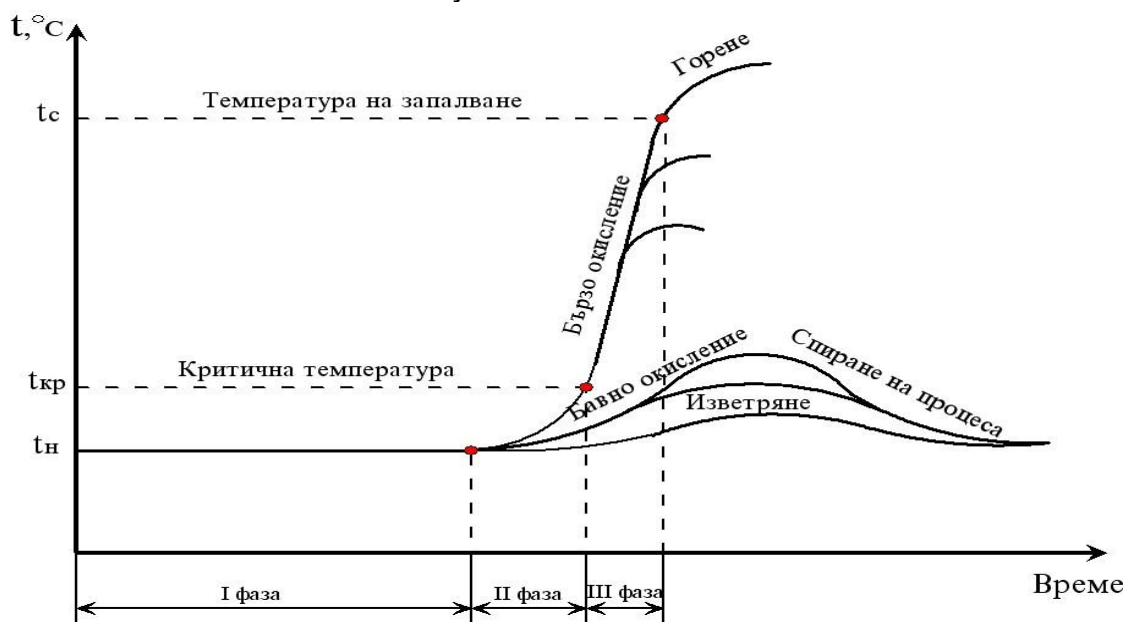
3/ условия за акумулиране на образуваната при окислението топлина.

При наличие на съответните условия развитието на процеса на самозапалване протича през следните фази (фиг. 1.1):

**Първа фаза** – подготвителен /инкубационен/ период, в който въглищата сорбират кислорода и се подготвят за самоокисление.

**Втора фаза** – период на самозагриване и достигане на критична температура /60-80 °C /.

**Трета фаза** – период на запалване на въглищата. Неговата продължителност зависи изключително от външните условия.



Фигура 1.1

- Температура на въглищата;
- Предварителното нагриване на въглищата;
- Влажност на въглищата;

- Петрографски състав и минерални примеси;
- Едрина на частиците;
- Теплообмен между натрупаните въглища и околната среда;
- Метаморфизъм на въглищата;

## 2. Самозапалвания в складове за въглища и насипища;

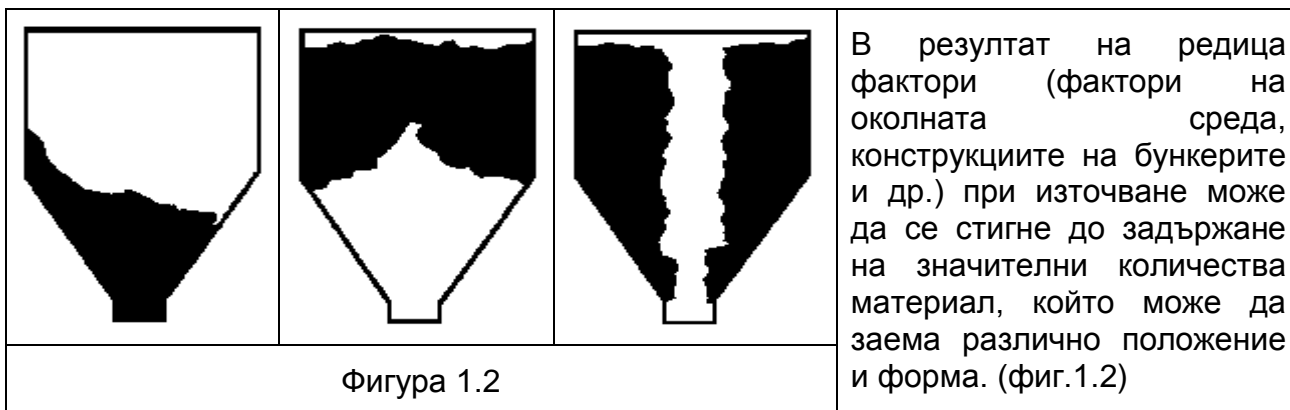
Освен физико-механичните характеристики на въглищата самозапалването в складове и насипища зависи и от факторите на околната среда – вятър (посока и скорост) и слънчевата радиация. Влияние върху процесите на самозапалване оказва и технологията на изграждане на склада като избор на място, подложка, ориентация спрямо преобладаващата посока на вятъра, компактоването на въглищата и др. **В нашата страна няма единна методика за изграждане на складове за съхранение на въглища и други горими материали. Изграждането им се регламентира от нормативни документи касаещи различни технологични процеси.** Освен избора на място важно значение има избора на типа склад, който се определя от характеристиките на суровината и начина на насипване, определящ се от наличната механизация. Важно значение имат и геометричните размери на складовете, ъглите на откосите и разположението им спрямо розата на ветровете.

## 3. Самозапалвания в бункери и силози

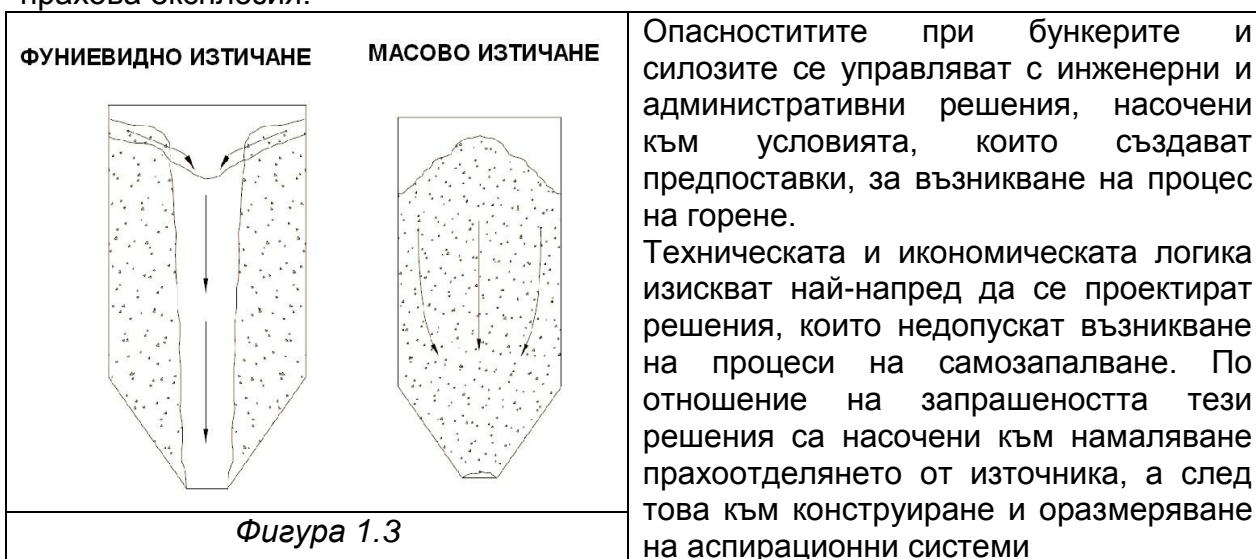
При изследване на процеса на самозапалване в бункери се използват различни математически модели, като се изследва влиянието на различни параметри върху самозапалването чрез задаване на постоянни параметри (размери на бункера, размер на отвора за изтичане на материал, ъгъл на наклона на конусната част на бункера и др.) С най – значителен ефект за възникване на разглежданите процеси е конструкцията на бункерите. Неправилното им проектиране и изграждане създава условия за възникване на така наречените застойни зони, които водят до образуване на въздушен канал или пълното му запушване. Други фактори оказващи влияние върху възникването на самозапалване са:

- ✓ материалът от който е изработено съоръжението,
- ✓ технологията на работа;
- ✓ поръзността на суровината;
- ✓ скоростта на въздушния поток, преминаващ през съоръжението;
- ✓ слънчевата радиация и температурата на околната среда. Нагряването на стените на бункера води до повишаване температурата на въглищата под действието на толината, предадената от стените.

- ✓ влажността на въглищата. Практиката показва, че броят на пожарите расте когато въглищата са с висока влажност, а това най – често се установява през пролетно – есенния сезон. Самозапалванията в бункери и силози могат да инициират една от най – тежките промишлени аварии – праховата експлозия. Използваните при различни технологични процеси горими материали могат да образуват значителни количества прах. В резултат на това да се създадат условия за възникване на експлозия. При силозите и бункерите образуването на прах се получава по няколко начина. Важен момент при прахообразуването е начинът на източване на материала.



В резултат на това явление материалът може да изтече фуниевидно или масово (фиг. 1.3). Основната опасност при фуниевидното изтичане е, че задържания материал е с голяма якост и не изтича заедно с останалия. Постепенно напластяване може да се стигне до пълно запушване на бункера. Времето за освобождаването му от материала може да бъде толкова дълго че да възникне samozапалване. Опасността при масовото изтичане е, че на долния отвор на бункера е възможно да се получи тапа, която не позволява на материала да изтече. Както и при първия случай така и тук времето за премахване на тази тапа може да осигури възникване на самонагриване. Друг проблем свързан с източването на бункерите и силозите, е когато задържания материал е под формата на арка или мост (фиг. 1.2). и при масово изтичане се освободи. Тогава в резултат на динамичния ефект може да се изхвърлят значителни количества прах и да се създадат условия за възникване на прахова експлозия.



. 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 експлозивната опасност на шихтата от тях. Това означава, че характеристиките на експлозивната опасност на прахове, получени от смеси на въглища с различна степен на метаморфизъм, изисква да бъдат изследвани в диапазона на практическото им съотношение на смесване. Другата възможност от гледна точка на експлозивната опасност е познаването на взриво и пожаротеническите характеристики на горимите прахове и материали. Това дава възможност за разпознаване (идентифициране) появата и нарастването на опасността от експлозии в полуограниченото пространство при различни конструкции бункери, силози и др. От друга страна познаването на еволюцията на опасността от възпламеняване на праховъздушните смеси



позволява вземането на адекватни на опасността инженерни решения за управления на риска в критични аварийни условия.

### Раздел 1.3

#### САМОЗАПАЛВАНИЯ И ЕКСПЛОЗИИ

Сложният характер на хетерогенните химични процеси в порестите материали и досега не е намерил изчерпателно обяснение. Наред с решаване на проблемите със самоокислението се търсят сигурни методи за предварително разкриване и преценяване естествената склонност на материалите към samozапалване. Установено е, че тази склонност е пропорционална на способността на материалите и суровините да поглъщат повече кислород и да се самоокисляват при ниска температура.

Най - опасният сценарии на развитие, които може да се получи, е възникване на samozапалване и последващо инициране на прахова експлозия. Вероятността за възникване на такъв тип авария е значителна във всички отрасли на промишлеността, дейността на които е свързана с използването на праха като суровина или получаването му като вторичен продукт.

Важно значение върху експлозивността на праховете оказват техните свойства.

1. **Дисперсност;**
2. **Химическа активност;**
3. **Способност да се наелектризират;**
4. **Летливост на праха;**
5. **Пепелно съдържание;**
6. **Съдържание на летливи вещества;**
7. **Влагосъдържание на праха и въздуха;**
8. **Състав на въздуха;**
9. **Температура на прахо - въздушната смес;**
10. **Източник на възпламеняване;**

Механизмът на протичане на процеса на горене при праховъздушните смеси е както при газовите. Прахът изгаря в тънкия слой на зоната на горене. Широчината на пламъка при праховете е няколко пъти по – голяма, отколкото при газовите смеси, тъй като горенето на праховете протича по – бавно и непълно. Пред фронта на пламъка аерозолите се нагриват за сметка на толпината от зоната на горене, която се предава чрез топлопроводимост и излъчване. Въпреки че е възможна агломерация на много малки прахови частици обобщено в практиката се приема, че с намаляване на размера на частиците опасността от експлозия нараства поради увеличаване на специфичната повърхност  $s$  [ $m^2/m^3$ ] на праховите частици. Праховите експлозии могат да бъдат първични и вторични. Първични са тези, които възникват при наличие на достатъчно количество прах във въздуха и източник на запалване. При вторична експлозия отложеният прах по земя, машини и съоразения се вдига и се запалва от първичната експлозия. Статистиката на станали експлозии по света показват, че съществува потенциална опасност от възникване на прахови експлозии при процесите свързани с образуване на горим прах като резултата от технологията или при използването му като суровина. За да се минимизира риска от такава авария на първо място са приети единни норми за класифициране на

праховете по отношение на тяхната взриво и пожароопасност. Съгласно БДС EN 1127 – 1

Праховете се разделят на две групи;

**А. Взривоопасни прахове;**

**Б. Пожароопасни прахове [27];**

Според EN 60079-10-2:2009 и Директива 99/92/ЕС зоните, в които се използват горими газове или прах, се класифицират съответно 0, 1 и 2 за горими газове, пари и мъгла и 20, 21 и 22 за горими прахове. Опасните места могат да се класифицират по зони на основата на честотата и продължителността на случаите на възникване на експлозивна атмосфера:

| Честота       | Продължителност на действие                            | Продължителност за една година [часове] | Опасни места               |
|---------------|--|---|----------------------------|
| Непрекъсната  | Постоянно или за дълги периоди от време                | >1000                                   | Зона 0<br><b>(Зона 20)</b> |
| Първостепенна | От време на време при нормални производствени операции | от 10 до 1000                           | Зона 1<br><b>(Зона 21)</b> |
| Второстепенна | При извънредни производствени операции и много рядко   | от 0.1 до 10                            | Зона 2<br><b>(Зона 22)</b> |

Важно значение за намаляване опасността от възникване и развитие на експлозии е познаването на взривоопасните характеристики на праховете. На база получените данните при определяне на тези показатели се предприемат мероприятия, недопускащи създаване на условия за авария. Показателите на експлозия се определят съгласно установените стандарти .

В заключение може да се обобщи, че управлението на риска от възникване на прахови експлозии е свързано както с познаване свойствата на горимите прахове и смеси така и с опасностите, които създава съответния технологичен процес. Разпознаването и разбирането на рисковете са първите стъпки в разработването на безопасни системи за мониторинг и управление на опасността от запалване и експлозии. Динамиката на индустриалната дейност обаче изисква много по-голям резерв за безопасност, поради което профилактиката на праховите експлозии е свързана с елиминиране или поне минимизиране появата на условията, водещи до възникване на експлозии.

## Раздел 1.4

### МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОПАСНОСТТА ОТ САМОЗАПАЛВАНЕ

Управлението на опасността от samozапалване при добива и съхранението на горими суровини и материали в складове и бункери е насочено към недопускане създаване на условия за възникване и развитие на процес на самонагриване. За да се постигне това е необходимо да се анализират факторите, оказващи влияние върху процеса на самонагриване и оцени степента им на въздействие върху развитието на този процес. На тази основа се определя рискът от възникване и развитие на процес на samozапалване при отделните технологични процеси.

В зависимост от условията на samozапалване на възлицата профилактичните мероприятия могат да се разделят на две основни групи – технически и специални .

- техническите мероприятия имат за цел да отстранят или ограничат условията за развитие на процеса на samozапалване на възлицата;

▪ специалните профилактични мероприятия – намаляване или ограничаване проникване на кислород в складовете или бункерите.

1. Профилактика на пожароопасността чрез антопиргени;
2. Профилактика на пожароопасността чрез инертизация (прилага се само при подземния добив на въглища);
3. Профилактика на пожароопасността чрез използване на пасты:
  - 3.1. Хигроскопични пасты (хидропасты)
  - 3.2. Паста на Хессел;
  - 3.3. Паста CFK;
  - 3.4. Паста Саарбергверке;
  - 3.5. Паста за изолационни прегради;
4. Профилактика чрез използване на пулпове;
5. Профилактика на пожароопасността чрез използване на пени;

Най – често използваните начини за прекратяването на процеса на горене в складове и насипища е чрез подходящо въздействие върху най-малко на една от причините водещи до възникване на този процес или взаимодействието между тях.

1. Разделяне на реагиращите вещества
2. Ограничаване притока на въздух към пожарното огнище
3. Гасене чрез охлаждане.

Едно от най-важните мероприятия за управление на риска от самозапалвания в складове е профилактичната обработка на въглищата с антипирогани. Те намаляват скоростта на протичане на окислителния процес чрез намаляване на абсорбционната способност на въглищата. Важен момент при профилактиката е избора на подходящ антипироген. Това е така поради факта, че за даден вид въглища съответния антипироген може да бъде инхибитор за други катализатор.

При гасене на ендеогенни пожари в бункери и силози най – често прилаганите начини са гасене с вода или чрез източване на материала от бункера или силоза. И при двата вида дейности съществува вероятност от възникване на експлозия - парова или прахова. Възможностите за намаляване на опасността от възникване на процес на самозапалване са насочени в няколко направления. Първото от тях се отнася към конструкцията на бункерите и силозите. Второто направление е ъгъла на наклона. Стените трябва да бъдат гладки и с достатъчно голям наклон, за да не се задържа материал. Редица фактори могат да повлияят върху триенето между стените на бункерите и материала а именно:

- ✓ **Материала, от който е изработен бункера;**
- ✓ **Корозията на стените;**
- ✓ **Износването;**
- ✓ **Размерът на изхода на бункера;**
- ✓ **Размер на частиците;**
- ✓ **Съдържание на влага;**
- ✓ **Време за съхранение.**

Ефективното управление на риска може да се получи и чрез промяна едрината на въглищата, намаляване на влагата чрез покриване на склада или чрез смесване на мокри и сухи въглища, промяна на работните процедури, в това число намаляване на времето за престой на въглищата в бункера и др.

Съществуват различни начини за ограничаване въздействието на отделните фактори върху разгежданите процеси. В практиката най – често използваните са облепване стените на бункерите със защитни покрития и изчистване на полепналия материал със сгъстен въздух. Като пример за един от най- често използваните и с най – добри характеристики материали за облицоване на бункери е **TIVAR 88** на фирма **TIVAR SYSTEM ENGINEERING**. Основно той се употребява при въглищни бункери но може се използва и при челни товарачи , камиони и вагони свързани с транспортирането на въглищата.

Другият начин за почистване на полепналия по стените на бункерите материал е с т.н. “въздушни пушки” Това са устройства, снабдени със сгъстен въздух и разположени на потенциално опасните места по бункерите. През определено време се изстрелва въздух под налягане в местата с полепнал материал, като по този начин се почиства полепналия по бункера материал.

Важен момент при управлението на риска от самозапалване в складове, бункери и силози е контролът на температурата на материала или суровината. В зависимост от условията, свързани с изграждането на складовете, условията на съхранение, характеристиките на въглищата и др. този контрол може да се извършва с различна периодичност. На съвременния етап на развитие на техниката и технологиите един от най–добрите методи, доказали своята ефективност в различни отрасли на промишлеността, е инфрачервената термография. Посредством нея може да се следи непрекъснато температурата на материалите в складове, бункери. Системата може да работи при температура на околната среда от  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Диапазонът на измерване е от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+2000^{\circ}\text{C}$ , чувствителността  $0,08^{\circ}\text{C}$  при  $30^{\circ}\text{C}$ . Инфрачервената термография е една от многото технологии, използвани при различни дейности, свързани с риска от възникване на пожари и експлозии. Доказаната ѝ ефективност ще доведе до намаляване на силите и средствата за локализиране и ликвидиране на пожари, възникнали в резултат на спонтанно самозапалване на различни суровини, вещества и материали.

## ГЛАВА ВТОРА

### ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основната цел на дисертационния труд е да се разработят научно обосновани ефективни решения за управление на риска от самозапалвания и експлозии в складове, силози и бункери за въглища.

За постигането на тази цел на първо място е необходимо извършване на комплекс от мероприятия, свързани с управление на опасността от самозапалвания и експлозии. Те включват избор на различни решения, имащи за цел недопускане създаването на условия, водещи до възникване на тези процеси.

Следващата стъпка за постигане на основната цел е управлението на загубите от самозапалвания и експлозии. Това включва избор и прилагане на различни методи, средства и гасящи вещества и състави за гасене на развити пожарни огнища.

За постигане на поставената цел ще бъдат формулирани и решени следните задачи

1. Проучване и анализ на влиянието на факторите на околната среда върху процесите на самонагриване и самозапалване при съхранение на горими вещества в складове, бункери и силози;

Изследване влиянието на различни фактори на околната среда за възникване на процес на самозапалване, връзката между тях и условията за възникване на тези процеси.

2. Оценка степента на опасност на факторите, влияещи върху възникването на разглежданите процеси.

Поради невъзможността за изследване на всеки фактор на околната среда върху възникването и развитието на процесите на самонагриване се провеждат изследвания само с този с най – високата степен на значимост - вятъра.

3. Изследване влиянието на въздушния поток върху граничните условия за възникване на процес на самонагриване в зависимост от височината и ъгъла на наклона на стените на складовете;

За да бъде изучено влиянието на вятъра върху процеса на самонагриване ще се извършват аеродинамични изследвания при различни скорости на движение на потока, различни съотношения на височината на склада към основата му и различни ъгли на наклона. На основание получените резултати ще бъдат определени граничните условия на ветровото натоварване на стените на складовете, както и разпределението на въздушния поток вътре в междувъглищното пространство.

4. Компютърно моделиране на ветровото натоварване на складовете. Сравнителен анализ на резултатите;

Основната цел е да се определи възможността за използване на компютърен модел за определяне вероятността за възникване на процес на самозапалване при различни начални условия, както и посоката на развитието му в зависимост от различните фактори на околната среда. Компютърното моделиране ще се извърши при идентични входни данни както и при физическото моделиране. От своя страна това ще даде възможност да се прогнозира възникването на самозапалване и да се прилагат различни мероприятия и средства за недопускане, ограничаване или спиране развитието на тези процеси.

5. Изследвания за определяне коефициента на пропускливост на средата в зависимост от вида и едрината на материала, дебита и налягане на потока, преминаващ през нея,

Целта е чрез създаване на физически модел да се изследва пропускливостта на различни по вид, форма и размери материали, използвани при съхранение в бункери и силози. Постоянните параметри, които ще бъдат зададени, са количеството и налягането на въздуха, преминаващ през силоза. Ще се следи промяната на скоростта и налягането на потока в различни сечения по височина на стенда. На основание получените резултати ще могат да се определят количествата гасящ агент, необходим за потушаване на пожар в бункер или силоз, и начинът на подаването му в зависимост от местоположението на огнището.

6. Изследвания за определяне на пожарните и взривните характеристики на горими промишлени прахове.

Основната цел на тези изследвания е да се определи склонността на праховете към самозапалване и възпламеняване. Чрез определяне на съответните температурни граници ще се изберат и приложат мерки, недопускащи създаване на условия за възникване на експлозии.

7. Изследвания за определяне фазите на развитие на процеса на самозапалване.

Резултатите от тези изследвания ще дадат представа за скоростта и времето на развитие на процеса на samozапалване от фазата на самонагриване до пълното изгаряне на пробата. Това ще позволи разделяне на процеса на отделни етапи, което е особено значение при прилагането на мерките за профилактика или за гасене на пожари.

**8. Лабораторни и стендови изследване на характеристиките и свойствата на предлагания противопожарен агент;**

Първоначално на предложени нов пожарогасителен агент ще бъдат изследвани различни хидроабсорбционни свойства и ще бъдат определени коефициентите на обемно разширение, едрина и плътност на абсорбер с различни размери т.е. данни даващи информация за оптималното съотношение вода – абсорбер в зависимост от предназначението и начина на подаване му. Освен това чрез определяне на периодите на хидратация и дехидратация ще може да определи времето за подаване на агента в зависимост от фазата на набъбване и времето за подаване на вода за нова хидратация на гела при гасене на пожар.

**9. Изследване съвместимост на суперабсорбера с антипирени и пулпове**

Чрез лабораторни изследвания ще бъдат определени съвместимостта на новия агент с различни антипирогени и пулпове. Целта е чрез съвместяване на различни пожарогасителни свойства да се повиши ефективността на гасене на развити ендогенни пожари.

Резултати от този комплекс изследвания ще позволят адекватно управление на риска от samozапалване чрез вземане на инженерни решения и прилагане на мерки за профилактика и контрол на факторите на околната среда. По този начин чрез ограничаване въздействието им върху условията, създаващи предпоставки за възникване на процес на самонагриване, рязко ще намали ендогенната пожароопасност на горимите суровини и материали.

## **ГЛАВА ТРЕТА**

### **ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА РАЗЛИЧНИ ТЕМПЕРАТУРНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Целта на изследванията е първо да се определи рискът от възникване на процес на самонагриване при различни суровини и материали в зависимост от техническите им параметри. На следващо място е изследване развитието на процеса във времето в зависимост от промяната на скоростта му до достигането на процес на горене. За постигането на тези цели е необходимо да се изследват взривните и пожарните характеристики на различни по вид и степен на въглефикация въглища, както и на условията, водещи да възникване на тези процеси. Бяха изследвани проби от различни въглищни басейни - Бобовдолски, Маришки, Черноморски, Донбаски, и мина "Катрище". За сравнителен анализ между отделните видове въглища, бяха изследвани и проби от въглища внос от Украйна. Предварителният технически анализ на някои от пробите са показани в таблица 3.1

Таблица 3.1

| РУДНИК                      | ПЛАСТ                                  | W [%] | A [%] | V [%] | Q min [cal/g] | Въглерод [%] | Сяра [%] |
|-----------------------------|--|-------|-------|-------|---------------|--------------|----------|
| МИНЬОР                      | Константинов                           | 11.2  | 25.5  | 52.84 | 4 406         | 54.63        | 2.20     |
|                             | Поморавия                              | 12.3  | 46.3  | 52.97 | 2 961         | 37.73        | 1.34     |
|                             | Надежда                                | 10.1  | 11.3  | 43.62 | 5 651         | 60.74        | 2.22     |
| БАБИНО                      | IV-ти                                  | 11.0  | 8.4   | 46.84 | 5 793         | 69.40        | 1.89     |
|                             | IVa                                    | 11.7  | 8.0   | 57.58 | 5 771         | 67.55        | 1.33     |
| ПЪРВИ МАЙ                   | Двоен                                  |       |       |       |               |              |          |
|                             | проба 1 (Пачка 1)                      | 15.4  | 62.2  | 50.91 | 1 728         |              |          |
|                             | проба 7 (По цялата дебелина на пласта) | 9.3   | 54.3  | 49.32 | 4 932         |              |          |
| ВИТРЕН                      |  | 14.1  | 33.8  | 51.98 | 3 829         |              | 13.17    |
| ТРОЯНОВО - СЕВЕР            | пласт II – ри, южна граница на рудника | 6.5   | 22.6  | 61.70 | 4 344         | 20.39        | 5.07     |
|                             | Междупластие                           | 5.0   | 57.2  | 65.43 | 1 878         | 8.92         | 2.61     |
| ЧЕРНО МОРЕ                  | пласт "А"                              | 19.2  | 25    | 52.80 | 3 732         | 50.87        | 3.73     |
| Черноморские Копи - Украйна | Средноазиатски басейн Марка Д          | 16.24 | 8.4   | 31.54 | 5 943         | 37%          | 0.38     |

### Раздел 3.1

#### ОПРЕДЕЛЯНЕ МИНИМАЛНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ЕКЗОТЕРМИЧНО РАЗЛАГАНЕ НА ПРАХОВЕТЕ

Първият тест, който се извършва, е за определяне тази минималната температура, при която започва екзотермично разлагане на въглища под въздействие на въздушен поток. Изследването се извършва в пещ на Грюер, а общият вид, на стенда са показани на фиг. 3.1.



Фигура 3.1

#### Резултати от проведените експерименти

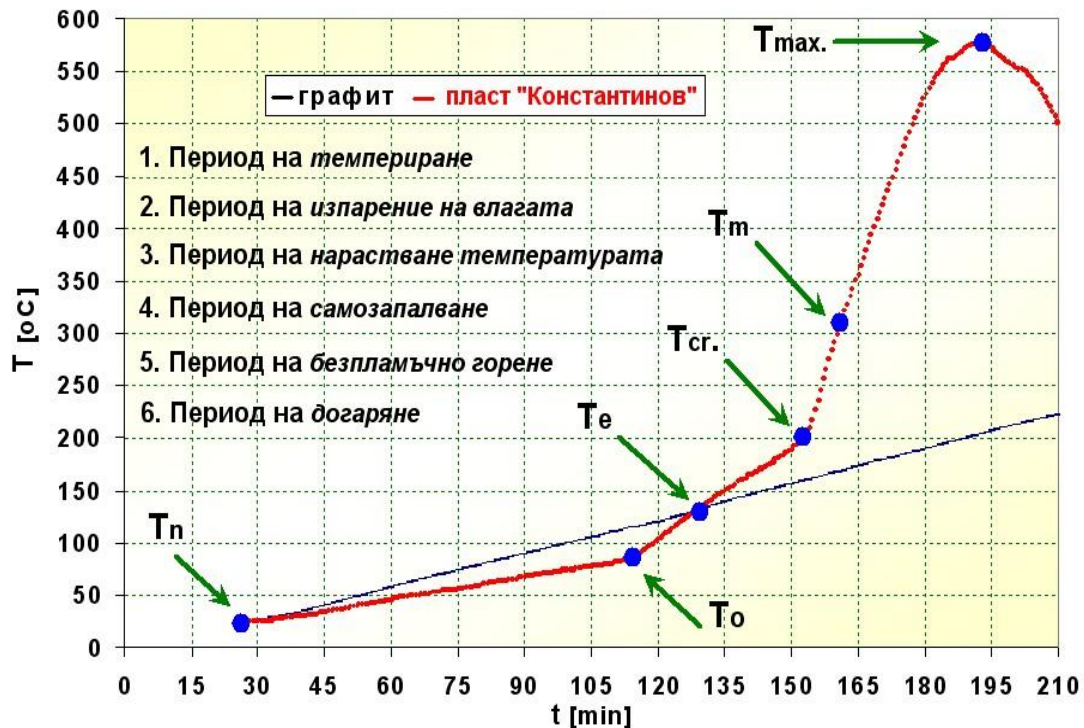
Резултатите от изследванията са представени на фиг. 3.2. Наблюдават се хронологично шест периода в зависимост от скоростите на изменение на температурата на въглищата

$$\frac{dT_c}{dt} \text{ и на графита } \frac{dT_g}{dt} .$$

➤ **Период на темперирание** (граница на периода са от

точка **T<sub>n</sub>** до точка **T<sub>o</sub>**) в която  $\frac{dT_c}{dt} \approx \frac{dT_g}{dt}$ . Краят на тази зона е времето, в което температурата на пробата става по-малка от тази на еталона.

➤ **Период на изпарение на влагата** от въглищата (граница на периода от точка  $T_o$  до точка  $T_e$ ) в който  $\frac{dT_c}{dt} > \frac{dT_g}{dt}$ . Разликата в температурите продължава да нараства до една температура  $T_o$  в която  $\frac{dT_o}{dt} = \frac{dT_g}{dt}$ .



Фигура 3.2

➤ **Период на стационарно нарастване на температурата** на въглищната проба (граница на периода от точка  $T_e$  до  $T_{cr}$ ) През целия период темпът на нейното нарастване остава по-голям от този на еталона  $\left(\frac{dT_c}{dt} > \frac{dT_g}{dt}\right)$ . В този период

се намира и температурата  $T_e$ , дефинирана от Грюер като “начало на екзотермичното разлагане” или това начална температура на самозагриване на пробата.

➤ **Периодът на самозапалване** започва от критичната температура на самонагриване  $T_{cr}$  и завършва при достигане на локалния максимум на темпа на нарастване на температурата  $(dT_c/dt)_m$ . Дефинираме  $T_{cr}$  като температурата на въглищната проба, при която темпа на нарастване на нейната температура става три пъти по-голям от тази на графитния еталон и след която тази разлика продължава да нараства.

➤ **Периодът на безпламъчно горене** започва от момента на максималната скорост на нарастване на температурата на пробата при температура  $T_m$  и завършва при достигане на максималната температура  $T_{max}$ , когато  $(dT_{max}/dt) = 0$ .

➤ **Периодът на забавено догаряне** е този, в който диференциалът на температурата  $T_c$  по време приема отрицателни стойности  $(dT_c/dt) < 0$  и намалява до достигане на този на графитния еталон.



Получените резултати от проведеното изследване дават основание да се направят някои основни изводи свързани със samozапалването на въглищата.

1. Съдържанието на влага играе важна роля при възникване на процеса на samozапалване.

2. След изпаряване на влагата скоростта на окисление на въглищата нараства линейно като в края на периода се достига до критичната температура на самонагриване.

3. След достигане на критичната температура скоростта на развитие на процеса нараства като се достига максимумът на темпа на нарастване и достигане на максималната температура на горене.

4. Достигането на максималната температура на горене показва, че вече има развито пожарно огнище, при което след изчерпване на един от източниците на горене започва процес на догаряне.

### Раздел 3.2

#### МИНИМАЛНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ТЛЕЕНЕ НА ПРАХОВ СЛОЙ

Целта на този тест е да се определи минималната температура на запалване на прахови слоеве, отложени върху нагрети повърхности. Към момента на провеждане на експериментите в страната нямаше наличен стенд за определяне на този показател. Това даде възможност да бъде разработен такъв съгласно изискванията на стандартите, третиращи определянето на този показател, а именно стандарт **IEC 61241 – 2 – 1**, Methods for Determining the Minimum Ignition Temperatures of Dusts layers и стандарт **ASTM E2021 – 01**. „Standard Test Method for Hot-Surface Ignition Temperature of Dust Layers”. Освен това за изследване възникването и развитието на пожарни огнища в прахове с различни дебелини стендът бе модифициран чрез поставянето на още една нагревателна плоча. Това ще ни позволи да се извършват паралелни изпитвания на различни дебелини на праховите слоеве.

Общият вид на стенда е показан на фигура 3.3. Съгласно изискванията на стандарт EN 61241- 10 максималната температура на повърхност на апаратите, измерена без прах върху тях, трябва да бъде по-малка или най-много равна на:

$t_{max} \leq 211^{\circ}\text{C}$  при дебелина на отлагания слой прах по – малко или най-много равна на 5 mm;

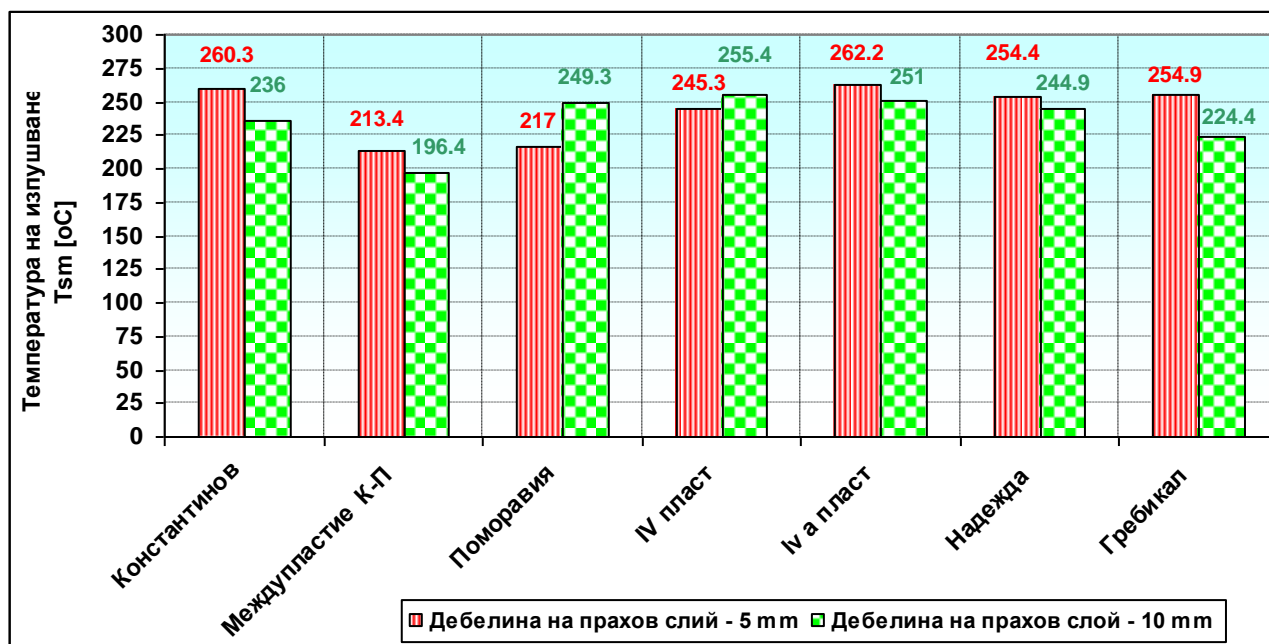
$t_{max} \leq 150^{\circ}\text{C}$  при дебелина на отлагания слой прах по – голяма от 5 mm и най-много равна на 10 mm.



Фигура 3.3

На фиг. 3.4 са представени резултати от изследване на различни проби с 5 и 10 mm слоеве. Данните от това изследване заедно с резултатите получени от изследванията проведени с пещта на Грюер ще дадат възможност за създаване на

един качествено нов показател за определяне риска от самозапалване на складирани суровини и материали.



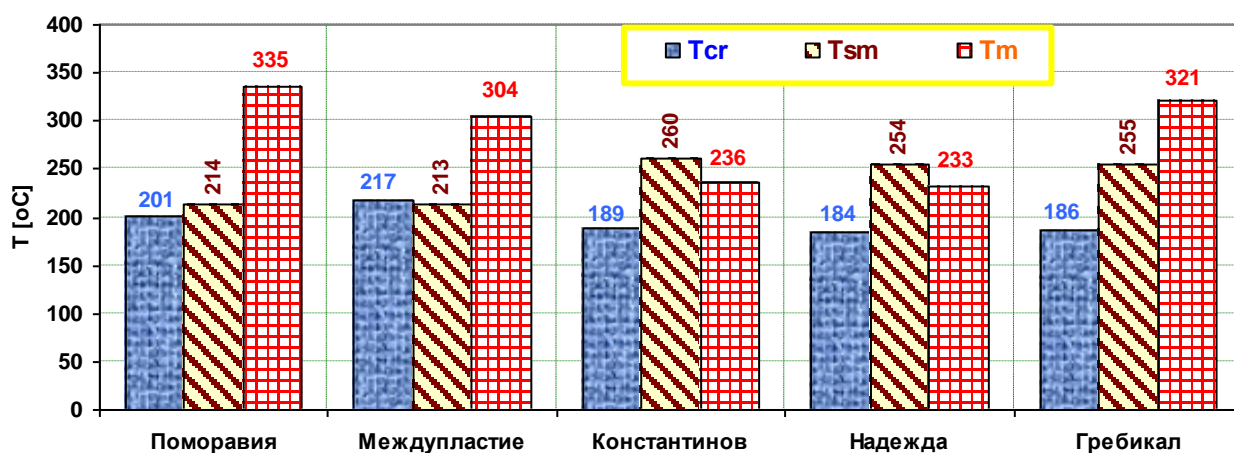
Фигура 3.4

След провеждане на изпитванията всеки слой от една и съща проба се класифицира по степен на горимост. На база получените резултати за отделните слоеве се прави обща класификация на праха по степен на горимост съгласно приложената класификация за горимост на праховете (табл. 3.2)

Таблица 3.2

|  |  |
|--|--|
| $T_t \text{ min} < 150^\circ\text{C}$          | лесно запалим  |
| $T_t \text{ min} = 150 \div 300^\circ\text{C}$ | запалим  |
| $T_t \text{ min} > 300^\circ\text{C}$          | трудно запалим   |
| $T_t \text{ min} \approx$                      | не е установено тлеене. Посочва се максималната температура, при която е извършено изпитването |

Едно сравнение на резултатите от теста на Грюер с т.нар. "температура на тлеене" на прахове от същите възлища е показано на фигура. 3.5.



### Фигура 3.5

Като цяло може да се обобщи, че температурата на тлеене маркира първата поява на визуалните белези на samozапалването за опитна геометрична конфигурация, която е характерна само за праховите натрупвания върху повърхности и съоръжения.

На основание получените резултати от проведените експерименти предлагам нов показател “**SC**” (съкращение на термина samozапалване **S**pontaneous **C**ombustion).

Параметри за определянето на този показател са:

1. дебелина на праховия слой –  $d$  [mm];
2. критична температура на samozапалване -  $t_e$  [°C];
3. време за достигане на критичната температура  $t_e$  -  $\tau_e$  [min];
4. Температура на тлеене -  $t_s$  [°C]
5. време за достигане на  $t_s$  -  $\tau_s$  [min];
6. време за нарастване от  $t_e$  до  $t_s$  -  $d\tau_{es}$  [min];
7. средна скорост на нарастване на температурата –  $\left(\frac{dt}{d\tau}\right)_{es}$  [°C/min];
8. показател на интензивността на генериране на топлина от окислението –  $S$  [°C.min];

Като интегрираме числено:

$$S = \int_{\tau_e}^{\tau_s} (t_s - t_g - t_e) d\tau \approx \frac{\sum_i (t_i - t_{i-1} - t_{gi}) \times \Delta\tau_i}{(\tau_s - \tau_e)^2} \text{ [degC} \times \text{min]} \quad (3.1)$$

Средната скорост на нарастване на температурата в интервала  $t_e - t_s$  се изчислява по зависимостта:

$$\left(\frac{dt}{d\tau}\right)_{es} = \frac{S_{es}}{\Delta\tau_{es}^2} \text{ [degC} \times \text{min}^{-1}] \quad (3.2)$$

Колкото по-голяма е скоростта на нарастване на температурата в описания интервал  $t_e - t_s$ , толкова по-голяма е опасността от samozапалване на възглицата. Следователно скоростта от последното уравнение трябва да фигурира в числителя на новия показател.

Показателят “**SC**”, се определя с отношението:

$$SC = \frac{\left(\frac{dt}{d\tau}\right)_{es}}{t_e} \text{ [min}^{-1}] \quad (3.3)$$

$$SC = \frac{60 \times \left(\frac{dt}{d\tau}\right)_{es}}{t_e} \text{ [h}^{-1}] \quad (3.3a)$$

$$SC = \frac{1440 \times \left( \frac{dt}{d\tau} \right)_{es}}{t_e} \text{ [day}^{-1}\text{]} \quad (3.3b)$$

На този етап може да се твърди, че този показател отразява двата най-важни момента от самонагриването на складираните материали:

- критичната температура на самонагриване и
- скоростта на нарастване на температурата от критичната до температурата на тлеене, когато самонагриването вече се манифестира с дим.

Показателят “**SC**”, характеризира опасността в периода, който е прието да се нарича инкубационен, но това е скрития период на самонагриването, към който трябва да се насочат наблюденията и превантивните технически и административни решения за недопускане на samozапалване.

### Раздел 3.3

#### ОПРЕДЕЛЯНЕ МИНИМАЛНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ВЪЗПЛАМЕНЯВАНЕ НА ПРАХОВЪЗДУШНИ СМЕСИ

С този тест се определя при каква температура праховъздушната смес ще се възпламени от източник на запалване. Температурата на запалване на прахов облак се определя в хоризонтален взривен цилиндър на BAM.

Резултатът от изпитването е минималната температура на запалване на прахов облак при контакт с нагрятата повърхност – вътрешната цилиндрична керамична повърхност на пещта. Общият вид на пещта е показан на фиг. 3.6



Фигура. 3.6

В таблица 3.3 са показани някои от резултатите за определяне на долната граница на възпламеняване на въглища от мини “Въгледобив Бобов дол” ЕООД и Донбас.

Таблица 3.3

| ПЛАСТ (ПРОБА)    | ДОЛНА ГРАНИЦА НА ВЪЗПЛАМЕНЯВАНЕ (ДГВ) |
|------------------|---------------------------------------|
| “Константинов”   | 560°C                                 |
| IV               | 470°C                                 |
| Донбаски въглища | 440°C                                 |

След провеждане на изпитването според т.5.5 от стандарт IEC 1241 – 2 – 1, минималната температура на запалване на прахов облак се определя, като от най – ниската температура на пещта, при която праховият облак се възпламенява, се изважда.

- ✓ 20 K при запалване над 300° C;

- ✓ 10 K при запалване под 300° C;

Опитите за намиране на универсален критичен параметър за характеризиране на самозапалването на въглища не съответстват на термодинамиката на развитие на процеса. Предложена е методика за разделяне на развитието на самонагриване до самозапалване на стадии на основата на характерните промени в динамиката на процеса – промяна на градиента на температурата.

Дефинираните и използвани показатели позволяват ефективно диагностиране и оценка на нарастване на опасността и предвиждане на адекватни по тежест технологични и технически решения за управление на риска. Верифицирана е дефиницията на понятието “критична температура на самозапалване” чрез сравнение с “температурата на тлеене”, което показва адекватността на дефиницията.

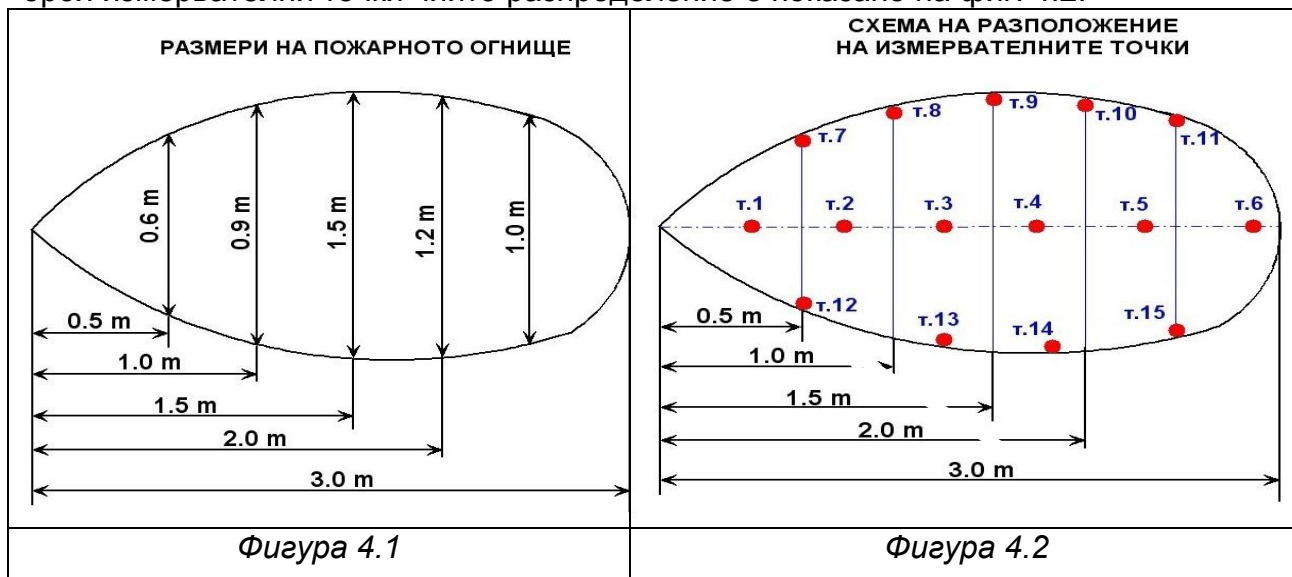
Методиката е приложена за въглища от 5 рудника в България. Получените резултати показват необходимостта от индивидуален подход за оценка на ендегенната пожарна опасност и нейното изменение при прилагане на различни технологични и технически решения. Реално достижима задача е обективно степенуване на природната предразположеност на въглищата към самонагриване и диференциране на характерни стадии в развитие на процеса за предприемане на адекватни на повишаване на опасността мерки за управление на риска от самозапалване.

## ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

### ПОЛЕВИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА САМОЗАПАЛВАНЕТО В СКЛАДОВЕ ЗА ВЪГЛИЩА

За определяне причините за възникване и развитие на процес на самозапалване в складове и насипища бяха проведени полеви температурни изследвания на развито пожарно огнище в склад на рудник “Трояново – 3” към Мини Марица Изток ЕАД. Според действащата класификация по отношение склонността на въглищата към самозапалване лигнитните въглища от Мини “Марица Изток” са класифицирани като слабо склонни към самозапалване. Въпреки това обаче доста често в складовете за въглища и по табаните се наблюдават различни по големина пожарни огнища.

Площната повърхностна форма на пожара наподобява елипса, заострена в единия ѝ край (по посоката на разпространение на пожара), с приблизителни размери показани на фиг.4.1 На база размерите на огнището бяха определени 15 броя измервателни точки чиито разпределение е показано на фиг. 4.2.



Изследванията започнаха с измерване температурата на повърхността на огнището в с помощта на инфраервен термометър **FLUKE модел 574** (Фиг.4.3). Следващият етап на работата бе изследване промяната на температурата на огнището в дълбочина. Това от своя страна включваше измерване на температурите във всяка точка на дълбочина от кота терен до кота – 1.75 m през 0.25 m. Изследването се извърши с помощта на дигитален термометър тип **H 5700** на фирма COMECO. (фиг. 4.4) Уредът е двуканален, което позволява едновременно измерване на температури в две точки.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  | <p>Измерванията се извършиха последователно с начално измерване от точката с най – ниския номер на дълбочина – 0.25 m. На всяко следващо измерване дълбочината се променя с – 0.25 m до достигане на крайната кота – 1.75m. Общият брой на измерванията във всяка точка е осем, а общия брой на всички измервания е 120. Резултатите от измервания са показани в табл. 4.1.</p> |
| <p>Фигура 4.3</p>   | <p>Фигура 4.4</p>   |   |

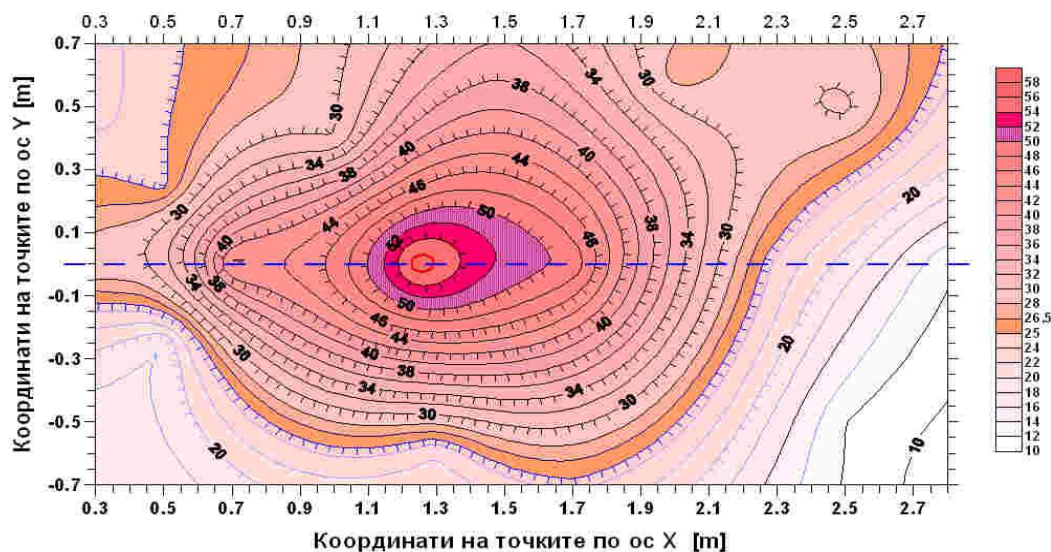
Таблица 4.1

| Дълбочина на измерване [m] | № на измервателна точка |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                            | 1                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|                            | Температура °C          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0                          | 29.7                    | 44.5 | 57.3 | 49.5 | 23.5 | 12.4 | 24.5 | 30   | 36.3 | 27.2 | 30.5 | 17.9 | 22.3 | 24.5 | 12   |
| 0.25                       | 49                      | 50   | 42   | 43   | 53   | 46   | 73   | 72.7 | 64.8 | 58.5 | 43.6 | 27.4 | 64.2 | 39.2 | 38.4 |
| 0.5                        | 73.4                    | 68.2 | 39.9 | 41.9 | 32.3 | 35.5 | 56.6 | 52.6 | 55.3 | 33.8 | 40.5 | 80   | 69.1 | 52.6 | 36.1 |
| 0.75                       | 81.6                    | 82.7 | 61.7 | 43.4 | 40.7 | 39   | 66.2 | 67.4 | 60.3 | 46.2 | 32.2 | 85.1 | 85   | 75.3 | 51.6 |
| 1                          | 85.9                    | 85.2 | 74   | 61.2 | 56.4 | 51.1 | 84.9 | 69.5 | 68.5 | 50.8 | 48.8 | 87.6 | 85.7 | 84.3 | 56   |
| 1.25                       | 87.8                    | 88.1 | 86.8 | 82.2 | 71.6 | 73.6 | 86.4 | 87.3 | 80   | 65.5 | 65.1 | 88.4 | 87.9 | 86   | 82.5 |
| 1.5                        | 89                      | 88.5 | 87.8 | 85   | 75.7 | 78.5 | 87.8 | 88.4 | 84.9 | 72.1 | 71   | 89   | 88.1 | 87.1 | 84.5 |
| 1.75                       | 90.1                    | 89.3 | 88   | 86.2 | 78.6 | 81.4 | 88.7 | 88.7 | 87.1 | 77.4 | 76.6 | 89.3 | 88.6 | 87.5 | 85.6 |

При изследване влиянието на факторите на околната среда върху развитието на пожара бяха измерени скоростта, посоката на движение на вятъра, както и температурата на околната среда. През целия измервателен период скоростта на вятъра се колебаеше от 4.5 до 4.9 m/s, като преобладаващата му посока бе североизток - югозапад. Температурата на околната среда запази относително устойчиво ниво около 12.6°C, като отклоненията варираха в малки граници между 0.2°C и 0.4°C. След провеждане на измерванията бяха построени изолиниите на разпределението на температурите на огнището в отделните точки площно и в дълбочина. На фигура 4.5 е показано площното разпределение на температурата на

пожара на кота терен. От нея става ясно, че пожарът е с най – висока температура в централната си част, където тя е над 50 °С Следователно в този участък пожарът е във фазата на активно горене.

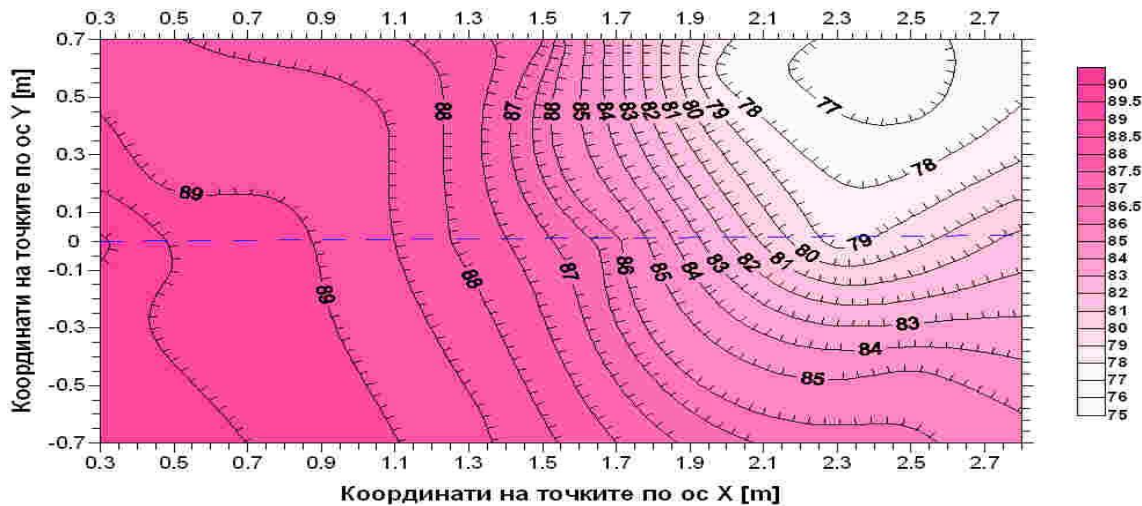
**Температурата около пожарното огнище на кота 0, deg.C**



**Фигура 4.5**

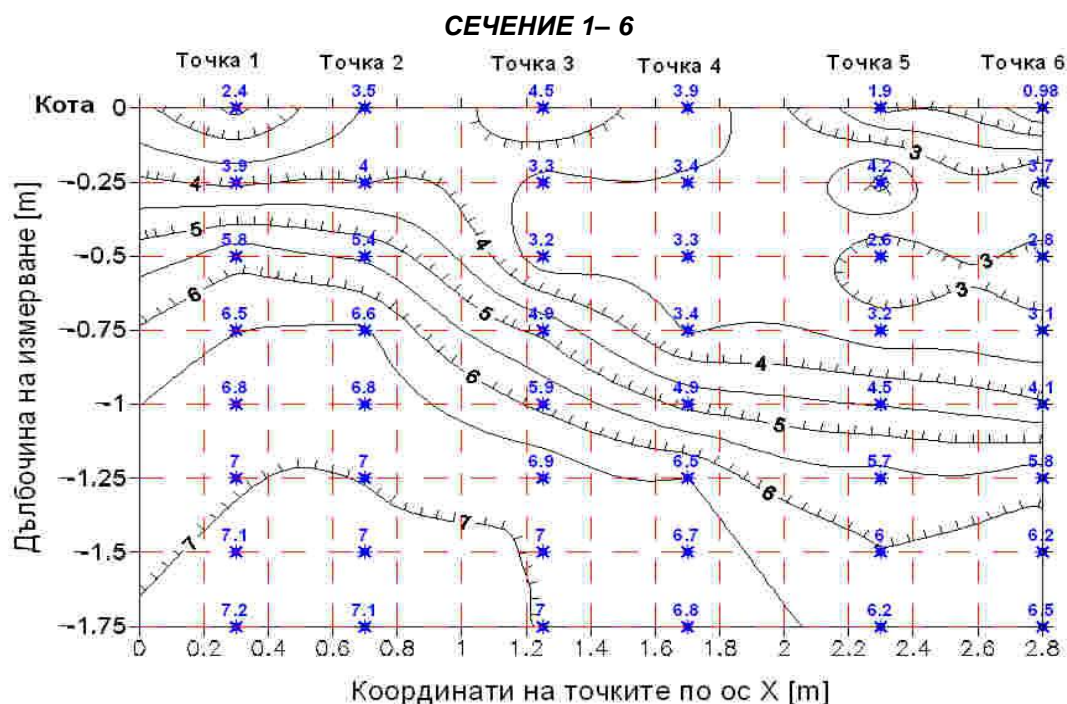
На кота -1.75m (фиг. 4.6) вече има ясно обособена зона на активно горене, където температурата в огнището варира от 72 до 90°C, което показва че пожарът се развива освен по посока на движение на въздушния поток, и в дълбочина.

**Температура на пожарното огнище на кота -1.75, deg. C**



**Фигура 4.6**

За да се определи посоката на разпространение на огнището в дълбочина е необходимо проучване изменението на температурите в раличните точки както по посока на движение на въздушния поток, така и перпендикулярно на него. За целта се изчертават изолиините на изменението на температурите по предварително определени оси. На фиг. 4.7 е показано такова изменение по ос 1 - 6. Тази ос минава приблизително през центъра на огнището. От фигурата става ясно, че от кота 0 до кота – 0.5 m температурата нараства, което е показателно за развиващ се пожар в дълбочина. Това се доказва и от отношението на изменението на тази температурата към температурата на околната среда, което варира от 1 до 6 пъти. От кота – 0.5m до – 1.75 m тенденцията на повишаване се запазва но изменението е в доста по тесни граници 9 ÷ 10°C.



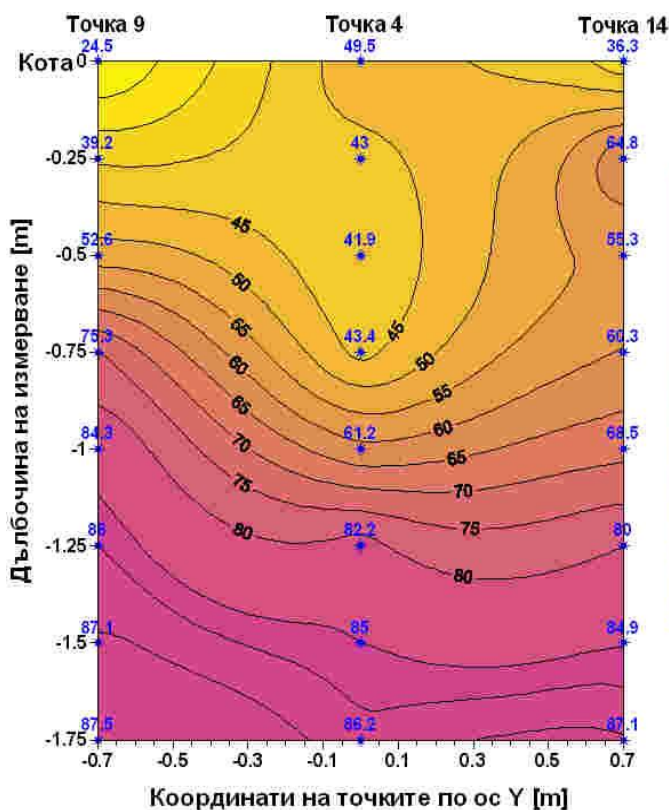
*Фигура 4.7*

Изследване на изменението на температурите перпендикулярно на посоката на ветровия поток се извърши по ос 9 – 4 -14 (фиг.4.8)

Температурата на огнището на повърхността на склада показва, че в този участък все още има активно горене. С увеличаване на дълбочината до кота – 0.5m температурата се повишава линейно, но при кота – 0.75 m това повишаване е скокообразно. След кота – 1.25 m, посоката на повишаване на температурата се запазва но само в порядъка на  $1 \div 2^{\circ}\text{C}$ . Направените измервания и анализи показват, че границата между критичната температура на самозагриване и фазата на горене е приблизително на дълбочина около  $-0.5 \div -0.7\text{m}$ . Ограничената дължина на сондите обаче не позволи провеждане на измервания на по – голяма дълбочина от установената. Получените анализи от изследванията показват, че посоката на разпространение на пожара съвпада с посоката на движение на въздушния поток, което доказва влиянието на един от основните фактори на околната среда - вятъра. Неговата посока и скорост определят до голяма степен вероятността от възникване на пожарно огнище. Не на последно място за възникване на пожари в складовете влияние оказват и самите конфигурации. Местоположението на активно действащия пожар показва, че когато се създаде така наречената “фуния” на повърхността на склада това неминуемо ще доведе до възникване на процеси на самонагриване и самозапалване на това място. В тази насока основните проблеми от възникване на пожари в складовете и насипищата на Мини “Марица Изток” ЕАД са свързани на първо място с начина на изграждане на складовете и насипищата. Недостатъчното им уплътняване води до образуване на празнини в междувъглищното пространство, което подпомага развитието на процеса на самонагриване.



## СЕЧЕНИЕ 9 – 4 – 14



Фигура 4.8

На следващо място е неправилният ред на насипване, което позволява образуване на неравности (фуниен ефект) по повърхността на складовете и насипищата. Неправилната ориентацията на складовете спрямо розата на ветровете също е решаващ факт. На голяма част от тях дългата им страна е ориентирана перпендикулярно на преобладаващата посока. Това неминуемо води до увеличаване на вероятността от възникване на пожари. Изучаването на връзките между отделните фактори, влияещи върху тези процеси дава възможност за управление на риска чрез избор и прилагане както на профилактични мероприятия, така и на ефективни методи и средства за гасене на вече възникнали пожари

## ГЛАВА ПЕТА

### ФИЗИЧЕСКО И ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ НА ВЕТРОВТО НАТОВАРВАНЕ НА СКЛАДОВЕ ЗА ВЪГЛИЩА

Складирането на големи обеми въглища за продължителен период е важно условие за ритмичната и надеждната работа на топлоелектрическите централи. Това обаче крие опасност от възникване на ендогенни пожари в складовете за въглища.

Две са главните природни характеристики, които определят риска от самозапалване на въглищата:

- ⇒ тяхната природна предразположеност към окисление при нормални температури, и
- ⇒ ветровото натоварване на склада, което определя доставката на кислород във междувъглищното пространство.

При численото моделиране на процесите на самозапалване в складовете поради липса на опитни зависимости за обтичане на фигури с форма на пресечена пирамида, се използват теоретични и експериментални модели за обтичане на ниски полегати хълмове.

#### Раздел 5.1

### ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

Целта на изследването е да се определят:

- ⇒ разпределението на налягането по повърхността на модела;
- ⇒ влиянието на ъгъла на наклона на склада върху обтичането на фигурата;

⇒ влиянието на скоростта на вятъра върху полето на налягането около и по повърхността на склада.

При обтичане на тела с различна конфигурация в експерименталната аеродинамика е прието действието на потока върху тялото да се характеризира с безразмерния коефициент на налягането  $C_p$ .

Стойностите на  $C_p$  за изследваното течение и модел на склада се тълкуват в съответствие с дефиницията, както следва:

$C_p = +1$  при  $U_i = 0$  - когато течението среща ръб, който променя посоката на движение на потока или разделя течението;

$+1 > C_p > 0$  при  $U_i < U_\infty$  - в тези зони течението се свива и статичното налягане се повишава над това в несмутеното течение, т.е.  $P_i > P_\infty$ ;

$C_p = 0$  при  $U_i = U_\infty$  - скоростта на обтичане се изравнява с тази на несмутеното течение;

$C_p < 0$  при  $U_i > U_\infty$  - налягането на повърхността на модела на склада става по-малко от налягането на несмутеното течение, т.е.  $P_i < P_\infty$ .

### 1. Схема на опитната постановка за влиянието на скоростта на вятъра

За моделиране на течението около трапецовиден склад за въглища и изследване на полето на скоростта и на налягането са разработени два физически модела (фиг. 5.1) в съответното съотношение с действителните им дължина, широчина, височина и ъгъл на наклона.

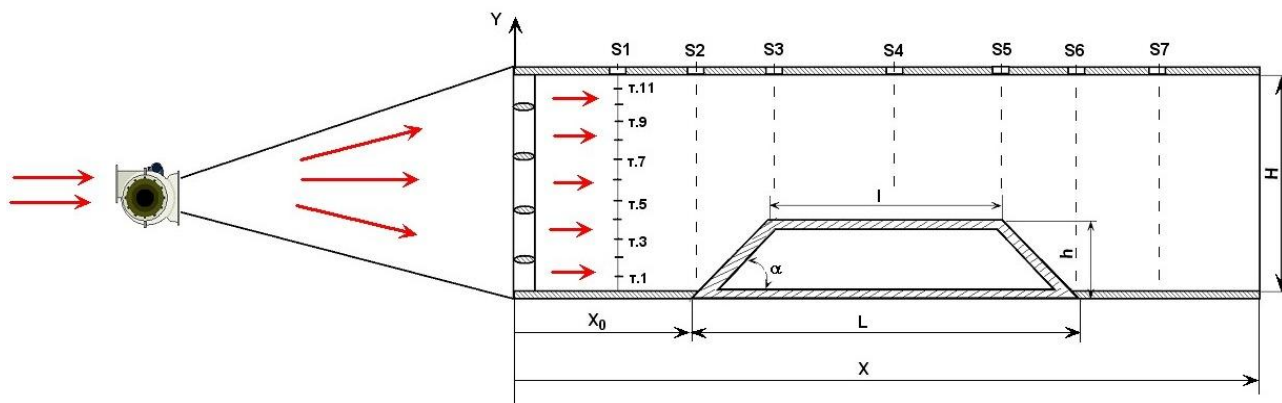


Отчитайки обстоятелството, че процесът на samozапалване се развива по нормала към откоса на склада задачата за неговото обтичането може да се разгледа във вертикално сечение.

Таблица 5.1

| Стенд № | Размери на стенда |       |           |      |       |      | Размери на модела на склада |           |       |       |       |       |
|---------|-------------------|-------|-----------|------|-------|------|-----------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|         | H [m]             | X [m] | $x_0$ [m] | H/h  | X/h   | W/h  | L [m]                       | $a^\circ$ | l [m] | h [m] | L/h   | l/h   |
| I - 1   | 0.572             | 1.80  | 0.54      | 2.38 | 7.50  | 0.49 | 0.678                       | 59°45'    | 0.398 | 0.24  | 2.825 | 1.658 |
| I - 2   | 0.522             | 1.80  | 0.564     | 2.75 | 9.47  | 0.62 | 0.620                       | 59°45'    | 0.398 | 0.19  | 3.262 | 2.095 |
| I - 3   | 0.472             | 1.80  | 0.59      | 3.37 | 12.86 | 0.84 | 0.561                       | 59°45'    | 0.398 | 0.14  | 4.009 | 2.843 |
| II - 1  | 0.572             | 2.41  | 0.73      | 3.18 | 13.39 | 0.66 | 0.838                       | 39°17'    | 0.398 | 0.18  | 4.656 | 2.211 |
| II - 2  | 0.522             | 2.41  | 0.79      | 4.02 | 18.54 | 0.91 | 0.716                       | 39°17'    | 0.398 | 0.13  | 5.508 | 3.062 |
| II - 3  | 0.472             | 2.41  | 0.84      | 5.90 | 30.13 | 1.48 | 0.549                       | 39°17'    | 0.398 | 0.08  | 6.838 | 4.394 |

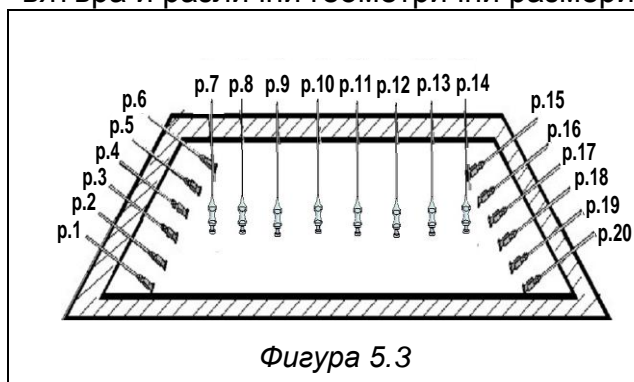
За изследване ветровото натоваване на складовете при различни скорости на потока на входа на стенда беше монтиран вентилатор с безстепенно регулиране на оборотите на работното му колело. Скоростта се измерва в седем сечения по дължината на течението и вертикално в единадесет точки във всяко сечение. (фиг.5.2). Провеждането на експеримента се извърши по предварително разработена и утвърдена методика.



Фигура 5.2

## 2 Разпределение на налягането по повърхността на модела

Следващият етап от изпълнението на задачата включваше изследване на разпределението на наляганята по стените на склада при различни скорости на вятъра и различни геометрични размери - височина  $h$  и дължина  $L$ .



Фигура 5.3

Измерванията на наляганята се извършиха през предварително пробити отвори перпендикулярни на стените, през които преминават приемниците на налягане. Общият брой на измервателните точки е 18 за модел №1 и 20 за модел №2, разпределени съответно по 5 (модел №1) и 6 броя (модел №2) на стените и 8 броя на горната основа. (фиг.5.3).

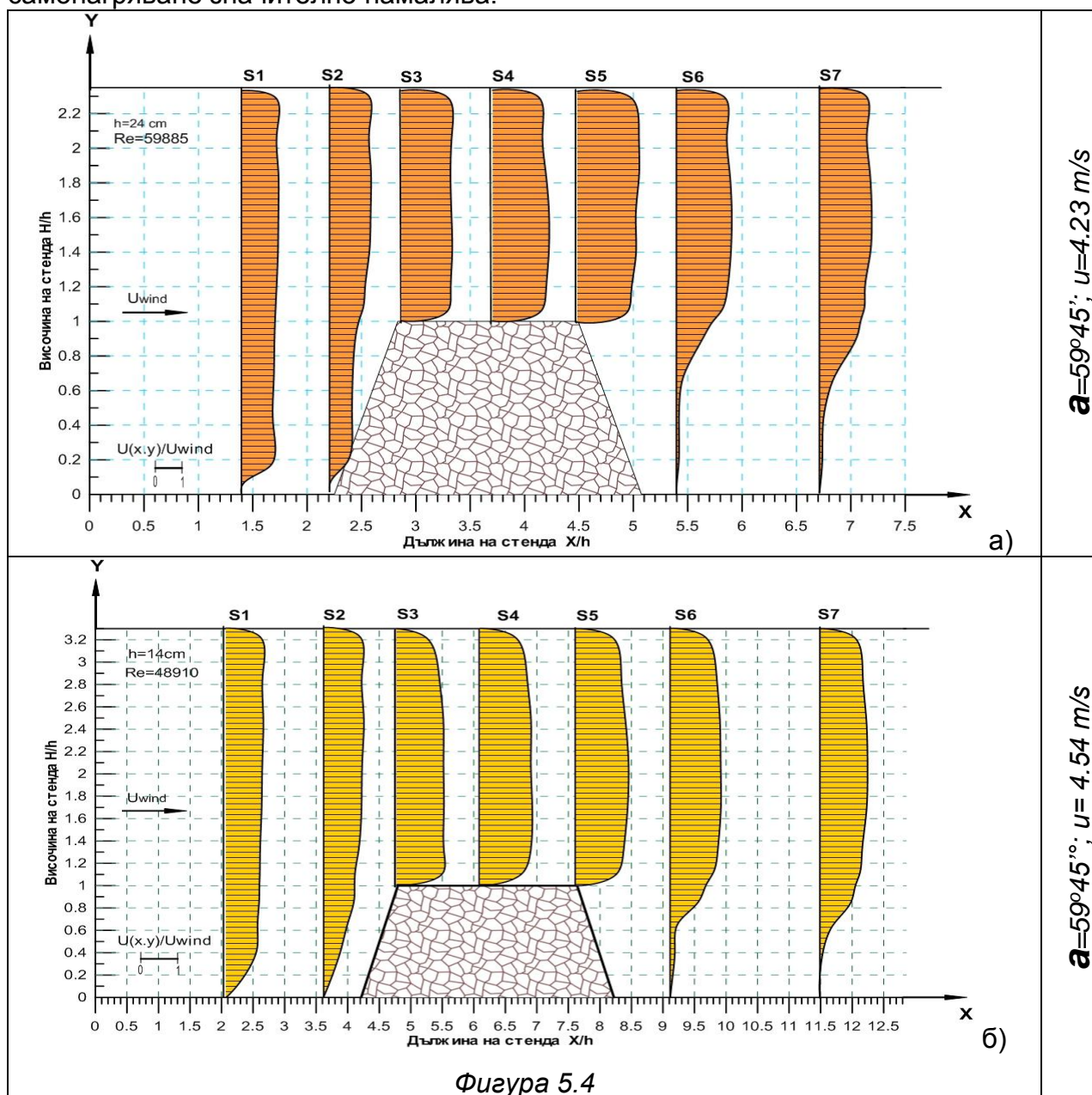
Измерванията се проведеха в аеродинамичния стенд по предварително определена последователност, като след всяко измерване се променяше височината на стенда и опитът се повтаря при съответната корост.

## 3. Експериментални резултати

### Скоростно поле.

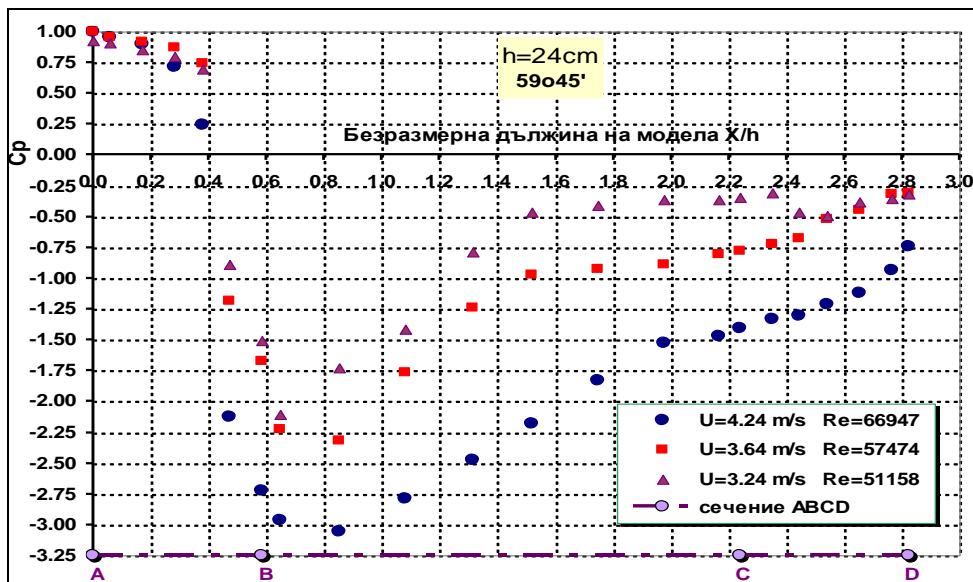
Скоростта на потока на се измерват в централната равнина ( $W/2$ ), равноотдалечена от страничните стени на стенда. Тя се снима в 7 сечения (S1-S7) с 11 измервания във всяко от тях (фиг.5.2) с помощта на термоанемометър тип TESTO 435. На фиг. 5.4 а, и б са показани промяната на скоростния профили на течението при различно ветрово натоварване в зависимост от ъгъла на наклона на стената ( $\alpha=59^\circ45'$ ) и височината на купа. Видно е, че с намаляване на височината на склада става преразпределение на ветровото усилие върху стените на наветрената страна на склада. При най – голямата височина  $h=0.24\text{m}$  (фиг. 5.4а) преразпределението на скоростния профил в сечение 2 е незначително в сравнение с профила в несмутеното сечение. То е съсредоточено основно на височината на стената на склада. Това показва, че по-голямата част от въздуха прониква в склада и може да създаде условия за възникване на самозапалване. Не така стои въпросът при

склада с по – ниската височина  $h=0.14\text{m}$  От фиг. 5.4б е видно, че промяната в скоростния профил на течението се различава от този при първия случай. Това показва, че складът е по-добре обтекаем, което позволява на по-голяма част от въздуха да се отклони. По този начин вероятността от възникване на процес на самонагриване значително намалява.



### Поле на налягането

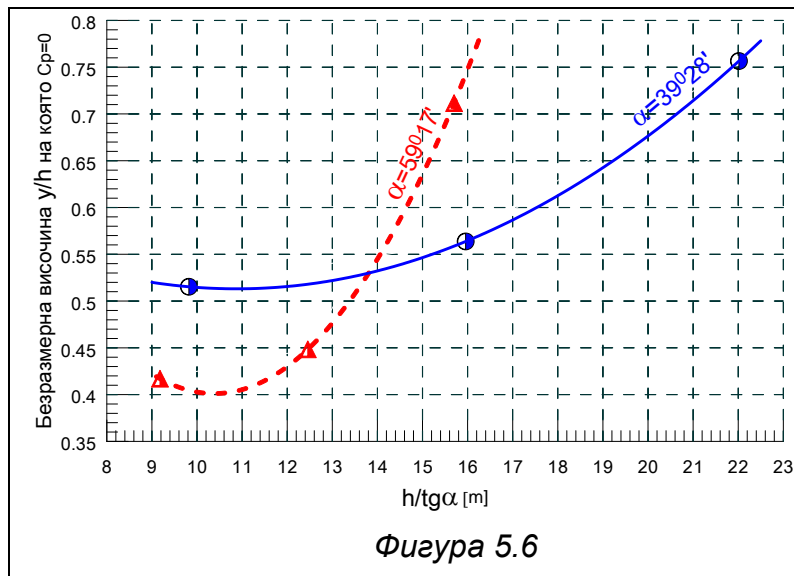
На наветрената страна АВ на склада при всички опити коефициентът на налягането променя знака си и при преминаване през неутралната хоризонтална равнина приема нулева стойност. На фиг.5.5 е показано изменението на безразмерната височина  $\left[ \left( \frac{y}{h} \right)_{Cp=0} \right]$  на неутралната равнина в зависимост от формата на склада. Тя е характеризирани чрез отношението  $\left( \frac{h}{tg\alpha} \right)$  на височината на склада в  $m$  и ъгъла  $\alpha$  на наклона на стената АВ спрямо хоризонталната равнина.



Фигура 5.5

Според резултатите от опита промяната на безразмерната височина  $\left[ (y/h)_{Cp=0} \right]$  на неутралната равнина се изменя незначително от скоростта  $U_{\infty}$  на несмутеното течение, за скорости на вятъра 9.5 до 20.5 km/h.

Точките на фигурата представят средното положение на неутралната равнина при три скорости  $U_{\infty}$  на вятъра за всяка форма  $(h/tg\alpha)$ . Под неутралната равнина се намира зоната на съгъстяване (компресия), в която  $+1 \geq C_p > 0$ , където налягането е по-голямо от това на несмутеното течение ( $P_i > P_{\infty}$ ).



Фигура 5.6

В тази зона  $0 \leq (y/h) \leq (y/h)_{Cp=0}$  в склада постъпва основния въздушен дебит от ветровия поток. Над линията на неутралната равнина  $(y/h)_{Cp=0} \leq (y/h) \leq 1$  налягането става по-малко от това на несмутения поток на вятъра  $P_i < P_{\infty}$  и се получава разреждане (депресия) на въздуха.

Повдигането на неутралната равнина (фиг.5.6) с увеличаване на височината на склада показва нарастването на частта от наветрената страна, през която в склада постъпва основния въздушен дебит. Това нарастване е по-бързо при по-стръмния наклон ( $\alpha = 59^{\circ}45'$ ), отколкото при по-полегатия ( $\alpha = 39^{\circ}28'$ ).

## Раздел 5.2

### ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ

Обтичането на складовете е моделирано със специализиран софтуер Flex PDE @ version 5, разработен от професор Gunnar Baskstrom от университета в Мальмо Швеция. Софтуерният продукт FlexPDE решава линейни и нелинейни диференциални уравнения по метода на крайните елементи. Уравненията,

граничните условия и областта на изследване се задават с вграден в системата редактор. Решенията се представят графично и таблично.

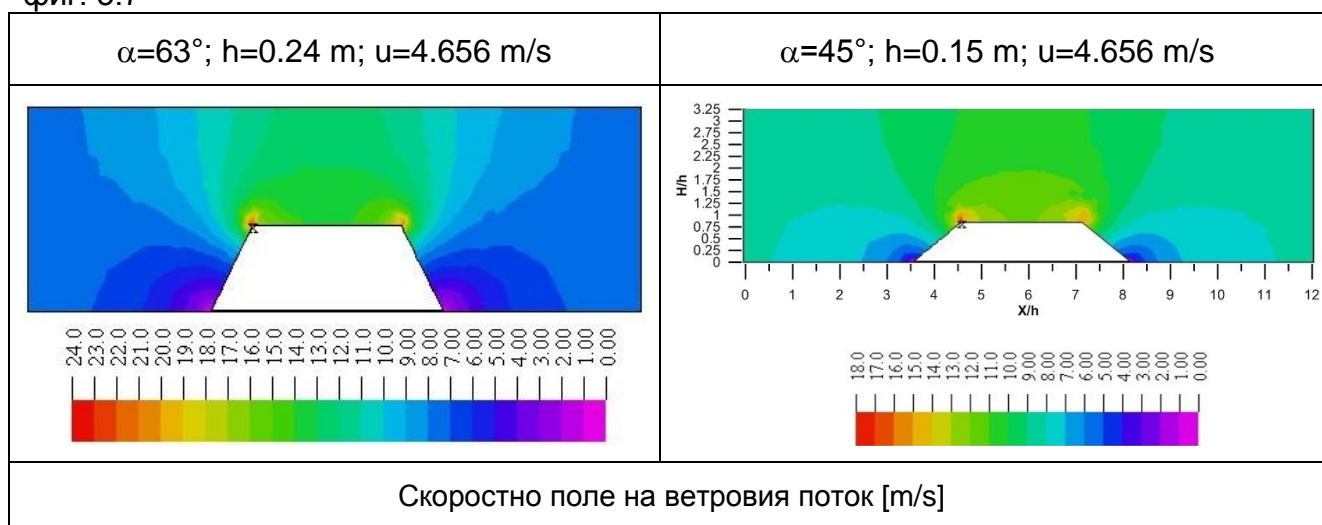
Изследва се двумерна област, в която е разположен куп с форма на трапец. Размерите му (дължина на основата, височина, ъгъл на наклона на стените и скорост на въздушния поток) са показани в табл.5.2.

Таблица 5.2

| L [m] | h [m] | $\alpha^\circ$ | $U_\infty$ [m/s] |
|-------|-------|----------------|------------------|
| 0.678 | 0.24  | 63             | 3.244            |
| 0.594 | 0.19  |                | 3.640            |
| 0.543 | 0.14  |                | 4.344            |
|       |       |                | 4.654            |
| 0.678 | 0.10  | 45             | 3.25             |
|       | 0.15  |                | 4.656            |
| 1.2   | 0.10  | 30             | 3.244            |
|       | 0.15  |                | 4.656            |
| 0.859 | 0.18  | 39             | 3.77, 3.85, 9.6  |
|       | 0.13  |                | 4.17, 4.89, 5.72 |

Скоростното поле се изследва чрез изчисляване на токовете линии на течението в пространството над и около склада при зададени гранични условия.

Резултатите от численото моделиране при съответните условия за показани на фиг. 5.7



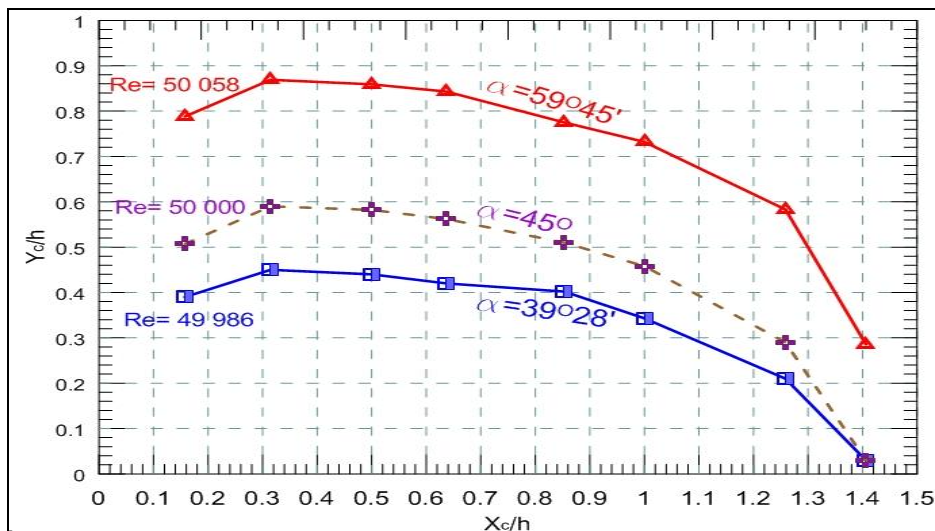
Фигура 5.7. Резултати от численото моделиране на скоростно поле около склад с различни ъгли на наклоните и височини

Разпределението на скоростта на ветровия поток, обтичащ стените на складове с еднакви ъгли, основно зависи от височината на склада. Ветровото натоварване при складове с голяма височина е равномерно разпределено по цялата дължина на стената, където има ясно оформени зони на минимално (в основата на склада) и максимално натоварване (на горния ръб). При намаляване на височината обаче скоростният профил се променя, при което става преразпределение на скоростите действащи върху стените на складовете и размера на зоните на действие (фиг. 5.7).

Освен от височината разпределението на скоростта и налягането по стените на складовете зависи и от ъгъла на наклона. При складове с малка височина и малък ъгъл  $\alpha = 45^\circ$  (при равни други условия) налягането върху стените е

значително по – малко отколкото при тези с по – голям ъгъл  $\alpha = 63^\circ$  и височина. На основание тези резултати са моделирани и два допълнителни наклона на стените на склада -  $\alpha = 30^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$ , чиито размери на модела с новите наклони са показани в табл. 5.2.

### Зона на рециркулация.



С увеличаване на височината и наклона на модела нарастват дължината  $X_c$  и площта на рециркуляционната зона зад подветрената CD стена на склада. С увеличаване на скоростта на вятъра рециркуляционната зона също нараства.

Фигура 5.8

На фиг.5.8 е показано изменението на дължината  $X_c$  и височината  $Y_c$  на рециркуляционната зона зад подветрената страна CD, като началото на абсцисата съвпада с точката D. Плътните линии на фигурата са прекарани по данните от опита, а с пунктираната линия са представени резултати от численото моделиране за  $\alpha = 45^\circ$ , при същата височина на склада и режим на ветровия поток.

Намаляването на височината на модела само с 0.05 m води до значително намаляване на зоната на рециркулация зад фигурата. Това е от съществено значение за интензивността на течението на въздух в порестата среда на склада в близост до подветрената му стена

В това изследване е показано разпределението на налягането чрез статичния коефициент на налягането, по повърхността на пирамидална структура в зависимост от височината и наклона на стените на обичайната форма на склад за въглища. Установено е ново положение на неутралната равнина от наветрената стена на склада, разделяща зоните на компресия и депресия, и влиянието на формата на склада върху положението на тази равнина.

На основата на проведените стендови и числени моделни изследвания, част, стигаме до съществения извод, че ъгъла на наклона на стените на склада  $\alpha$  трябва да бъде по-малък от ъгъла на естествения откос  $\theta$  на материала.

Намаляването на наклона на стените на склада само с  $5.5^\circ$  значително подобрява обтичането му и намалява разликите в налягането по неговата повърхност.

## Раздел 5.3

### ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВЕТРОВТО НАТОВАРВАНЕ ПРИ ПРОМЯНА ПОЛОЖЕНИЕТО НА СКЛАДА СПРЯМО ОСНОВНАТА ПОСОКА НА ВЯТЪРА

От съществено значение за ветровото натоварване на складовете е ориентацията им спрямо розата на ветровете. При изграждането им трябва да бъдат така ориентирани, че да имат най – малка обтекаема площ при силен и

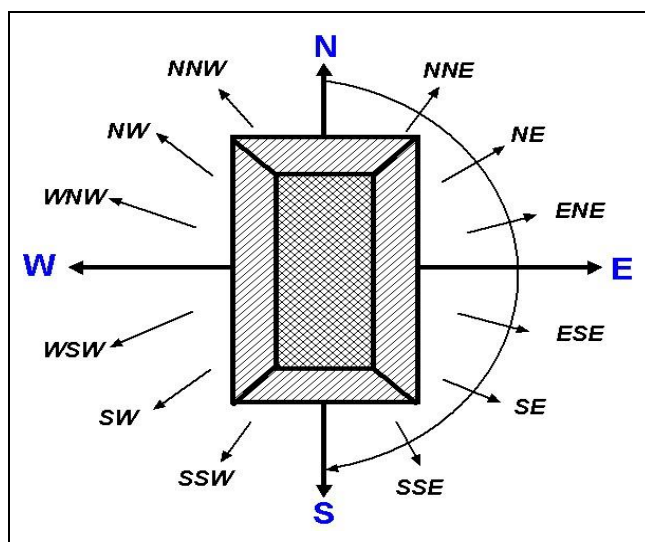
продължителен вятър. Това се постига чрез построяване розата на ветровете за съответното място на изграждане на склада. Не така стои въпроса при вече изградени и функциониращи складове. При тях е необходимо извършване на оценка на ветровото им натоварване чрез построяване на розата на ветровете. Освен това чрез тези данни може да се изследва ветровото натоварване върху стените на склада в зависимост от посоката, скоростта и честотата на появяване. На база получените резултати ще се направи оценка на ветровото натоварване и ще се определят потенциално опасните зони за възникване на самонагриване, като това ще позволи предприемане на профилактични мероприятия за третиране на тези зони.

За оценка на ветровото натоварване на склад за въглища с обем 300000 t в ТЕЦ “Бобов дол” бе поставена метеорологична станция, която регистрира промяната на факторите на околната среда за определен период от време. Получените данни позволиха да се оцени ветровото натоварване на склада при следната последователност:

1. Обработване на данните получените от метеорологичната станция и изчисляване плътността на въздушния поток  $\rho_0$  [ $\text{kg/m}^3$ ];
2. Определяне на динамичното налягане на ветровия поток  $P_d$  [Pa];
3. Определяне на скоростите на потока  $U_x$  и  $U_y$  действащи по осите  $x$  и  $y$  чрез разлагане вектора на скоростта;

4. Определяне на динамичните налягания  $P_x$  и  $P_y$  по осите  $x$  и  $y$  в зависимост от скоростите  $U_x$  и  $U_y$  по формулите  $P_x = \frac{\rho U_x^2}{2}$  и  $P_y = \frac{\rho U_y^2}{2}$  [Pa];

5. Определяне динамичното налягане върху склада в зависимост от ъгъла на атаката на потока и ориентацията на склада спрямо съответната географска посока;

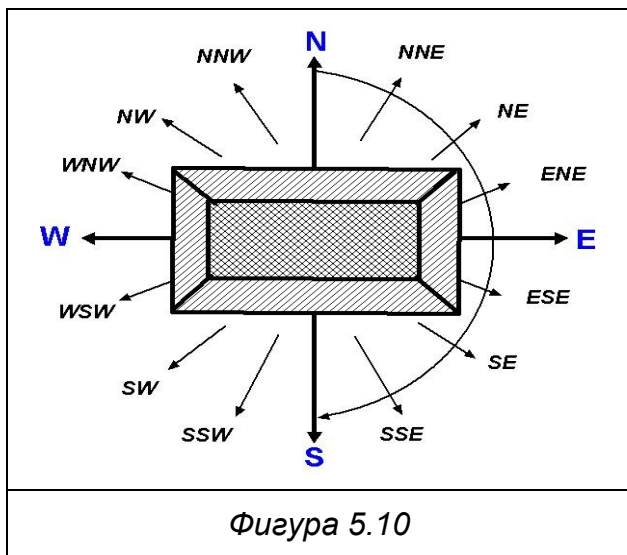


Фигура 5.9

За определяне на динамичното налягане се използва координатна система  $x$ - $y$  като приемаме, че оста  $x$  съвпада с географска посока изток (W), а оста  $y$  с посока север (N). Ориентиране склада така, че дългата му страна да бъде по ос  $y$  а късата по ос  $x$ . (фиг. 5.9) Определя се динамичното налягане в зависимост от честотата на поява на вятъра. Приемаме, че ветровото натоварване е върху късата страна на склада т.е посоката на вятъра е от север, а ъгълът на склада е  $0^\circ$  спрямо географските посоки

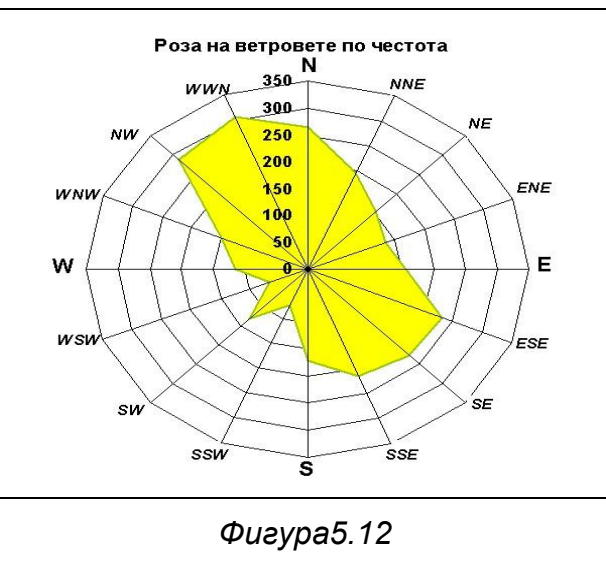
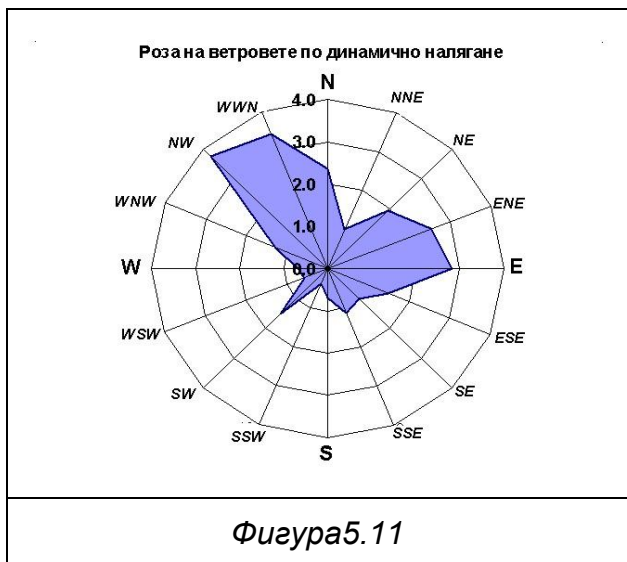
Динамичните налягания по  $x$  и  $y$  се определят в зависимост от зададената посоката на вятъра и положението на склада.





След това склада се завърта с  $22.5^{\circ}$ , като посоките се запазват и векторът на скоростта се разлага отново на  $U_x$  и  $U_y$ . Последващата операция е да се определят наляганията по съответните оси -  $P_x$  и  $P_y$ . Ъгълът, на който се завърта склада се събира със съответната географска посока – в случая посока север. Това се повтаря от  $0$  до  $90^{\circ}$  (фиг. 5.10) а след това и до  $180^{\circ}$ . След  $180^{\circ}$  завъртането се прекратява поради факта, че са налице оси на симетрия и получените резултати ще бъдат същите.

6. Определяне динамичното налягане върху склада при честота, продължителност на действие и средна скорост при промяна посоката на ветровото натоварване;
7. Определяне розата на ветровете по динамично налягане (фиг.5.11), честота (фиг.5.12);



8. Определяне на средните динамични  $P_x$  и  $P_y$  върху складовете по основните географски посоки както по честота на появяването им.
9. Определяне на общото влияние на средно налягане по честотата  $P_x (F)$  и  $P_y (F)$  при различни географски посоки в зависимост от честотата на появяване и големината на  $P$
10. Изследване ветровото натоварване върху наветрната и подветрената страна на складовете и определяне ориентацията на склада в зависимост от съотношението на  $P_y/P_x = \max$

За всяка посока от  $0$  до  $180^{\circ}$  се изчислява динамичното налягане по  $x$  и  $y$  като се сумират стойностите с положителен и отрицателен знак т.е налягането от наветрената и подветрена страна на склада. Изчислява се динамичното налягане по осите в зависимост от честотата на поява на вятъра. Определя се отношението  $P_y/P_x$  за всяка географска посока от  $0$  до  $180^{\circ}$ . Това отношение трябва да има максимална стойност, защото от него зависи ориентацията на склада.

Предимството на тази методика се изразява в оценката на ветровото натоварване на действащи складове, което позволява предприемането на действия, свързани с профилактиката на ендогенната пожароопасност. Профилактиката може да се изразява в обработване на стените на наветрената страна с гел на височина равна на нулевата линия, екраниране на наветрената страна с помощта на екрани, засаждане на дървета в близост до складовете и т.н. По този начин се намали възможността за проникване на въздух в склада и вероятността от възникване на процес на самонагриване нагриване.

## ГЛАВА ШЕСТА

### ИЗСЛЕДВАНЕ ПРОНИЦАЕМОСТТА НА ПОРЕСТИ СРЕДИ

Въздуха преминаващ през складовете или бункерите доставя кислород за протичане на процеса на нискотемпературно окисление на въглищата. Разпределението му в порестата среда зависи от съпротивлението на средата и от разпределението на налягането по проницаемите граници. В настоящата разработка се моделира течението на въздух в порестата среда като експериментално се уточняват зависимостите за определяне на загубата на налягане в средата.

#### Раздел 6.1

#### ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

Важно значение за проникването на въздуха в междувъглищното пространство оказва порьозността на средата. Целта на изследванията е да се получат емпирични данни за влиянието на размера на частиците на насипния материал с реална нееднородност, форма и пористост върху стойностите на коефициентите на вискозно и инерционно съпротивление –  $\alpha$  и  $\beta$ .

#### 1. Основни уравнения

Течението на въздух в пореста среда се описва с уравненията на Forchheimer[6.2,6.3] и уравнението на непрекъснатостта:

$$\frac{dP}{dx} = -\alpha v \rho \vec{u} - \beta \rho |\vec{u}| \vec{u} \quad (6.1)$$

$$\frac{dP}{dy} = -\alpha v \rho \vec{v} - \beta \rho |\vec{v}| \vec{v} \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (6.3)$$

където:

$$\alpha = \frac{1}{K} \text{ е коефициент на вискозно съпротивление, [m}^{-2}\text{],} \quad (6.4)$$

$$\beta = \frac{C_E}{\sqrt{K}} \text{ - коефициент на инерционно съпротивление, m}^{-1} \quad (6.5)$$

$v$  - коефициент на кинематичен вискозитет,  $\frac{m^2}{s}$

$K$  – проницаемостта на порестата матрица,  $m^2$  ;

$C_E$ - коефициентът на Ergun, силно зависим от режима на течение на флуида;

Проницаемостта на матрицата  $K$  зависи от размера  $d$  на твърдите частици и пористостта  $\varepsilon$ . Проницаемостта се определя като частта на обема на празнините от общия обем на матрицата  $\varepsilon = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}$  и още от зависимостта  $\varepsilon + C = 1$  (6.6)

където:  $\rho_m$  и  $\rho_s$  са плътностите на проницаемата матрица и на твърдата фаза,  $\text{kg/m}^3$ ;

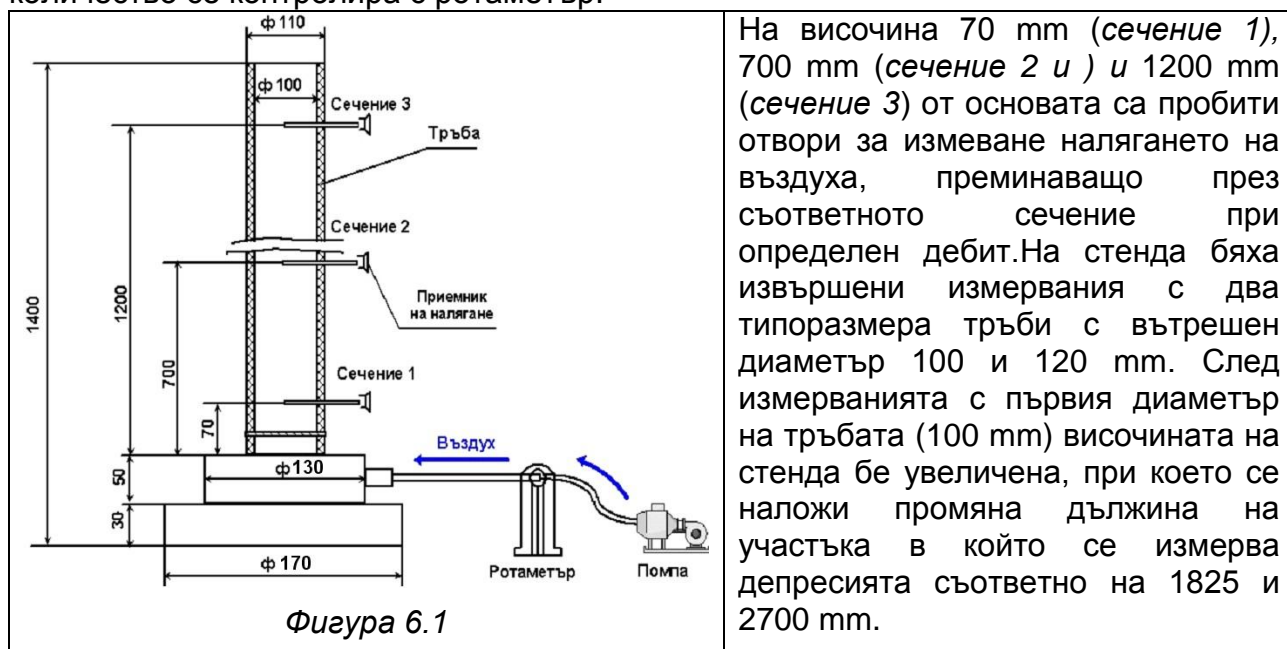
$C$  – компактност на матрицата.

Коефициентът на Ergun обикновено се изчислява по емпиричната зависимост:

$$C_E = 1.75 \sqrt{\frac{\varepsilon^3}{150}} \quad (6.7)$$

## 2. Схема на опитната постановка

За постигане на задените цели бе изработен стенд с размери, показани на фиг. 6.1. Той представлява пластмасова тръба, закрепена върху метална основа. На основата е пробит отвор, осигуряващ преминаването на въздух през тръбата, което количество се контролира с ротаметър.



Първоначално за еталонно измерване на налягането на въздуха, преминаващ през средата се използва ориз поради факта че формата и размерите на зърната са приблизително едни и същи. Измерванията на загубата на налягане в различните сечения показват, че в сравнително еднородна среда промяната на градиента на налягането е в линейна зависимост от скоростта на потока, преминаващ през средата. Това се дължи на факта, че в такава среда въздушните междини са сравнително еднакви. На основание получените резултати бяха избрани следващите изследвани проби - пясък и въглища с различна едрина.

Стойностите на  $\alpha_r$  и  $\beta_r$  са получени от коефициентите на квадратичните корелационни уравнения (без свободен член). Отношението  $l'/l$  в таблицата, представя колко пъти е удължен път на филтрация  $l'$  в сравнение с транспортното разстояние, за което се измерва загубата на налягане. Пътят на филтрацията  $l'$  зависи от изменението на размера и геометрията на порите по протежението на въздушното течение. Траекторията на флуида  $l'$  винаги е по-голяма от разстоянието  $l$ , т.е.  $l'/l > 1$ .

Таблица 6.1

| насипен материал | de [mm] | ε     | α.μ [Pa.s/m <sup>2</sup> ] | β.ρ [kg/m <sup>4</sup> ] | α[m <sup>-2</sup> ] | β[m <sup>-1</sup> ] | C <sub>E</sub> | l/l  | K [m <sup>2</sup> ] |
|------------------|---------|-------|----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------|------|---------------------|
| пясък            | 1,405   | 0,286 | 8,406E+05                  | 3,203E+04                | 2,053E+09           | 7,0642E+05          | 111,8          | 10,9 | 4,87E-10            |
| въглища          | 1,444   | 0,403 | 1,902E+04                  | 2,113E+05                | 1,219E+09           | 1,776E+05           | 28,1           | 6,5  | 8,2E-10             |
| въглища          | 9,643   | 0,322 | 1,393E+03                  | 9,220E+04                | 8,929E+07           | 7,748E+04           | 21,3           | 8,7  | 1,12E-08            |

ε – пористост на средата;

α.μ – линейно съпротивление зависещо от вискозните сили;

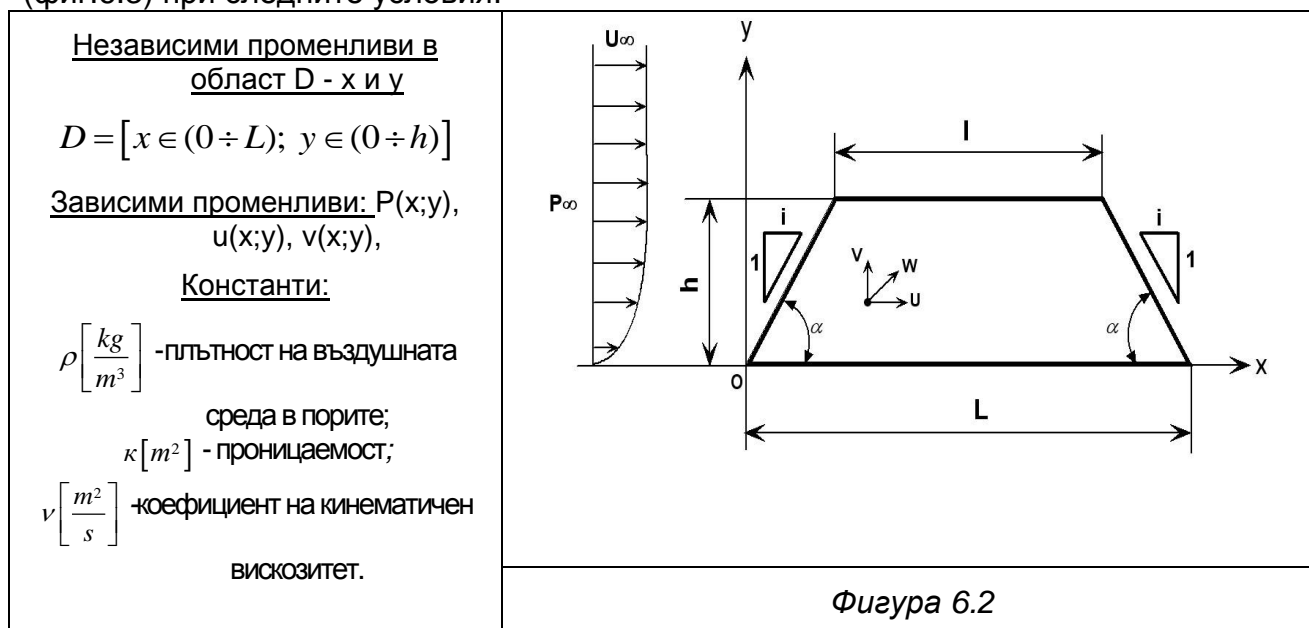
β.ρ - квадратично съпротивление зависещо от инерционните сили.

Проницаемостта K представлява характеристика на порестата средата, която има физически смисъл на площ на филтрационните канали, по които филтрат се движи. Сравнението на данните от опита за трите проби показва, че колкото по-голяма е нееднородността на средата, толкова по-големи са отклоненията получени за среди с еднородни частици.

## Раздел 6.2

### МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

При математическото моделиране на течението в склад за въглища са използвани получените стойности на коефициентите α и β (табл 6.1) за аеродинамично характеризирание на порестата среда. Решава се системата от диференциални уравнения 6.1 - 6.3 за течението на въздух в склад за въглища (фиг.6.3) при следните условия.



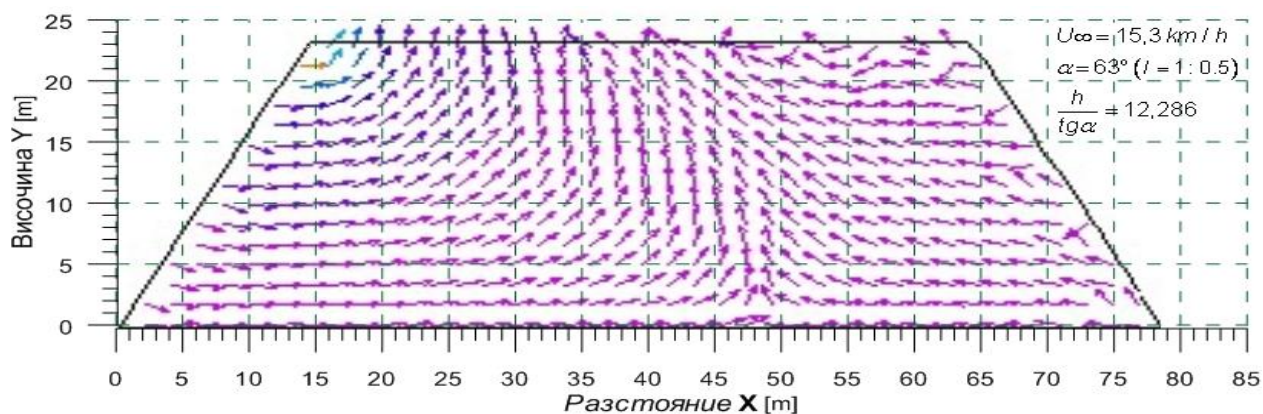
#### Гранични условия:

Разпределението на налягането по порестата граница на склада се задава от опитните резултати за стойностите на коефициента на налягане C<sub>P</sub>, дефиниран по известната зависимост

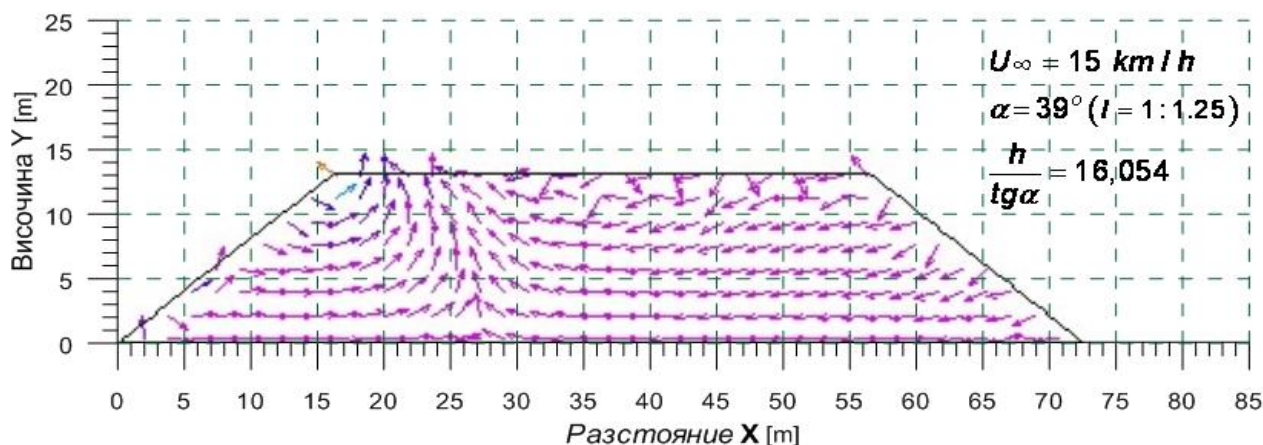
$$C_P = \frac{P - P_\infty}{\rho_\infty \frac{u_\infty^2}{2}} = 1 - \left( \frac{u}{u_\infty} \right)^2, \quad (6.8)$$

в която с индекс “ $\infty$ ” са означени параметрите на несмутеното течение на вятъра.

Въздушното течение в порестата среда е моделирано със специализирания софтуер Flex PDE описан в глава 5. Векторните полета на скоростите за физически моделираните условия на обтичане са показани на фигури 6.3 и 6.4. Ясно се вижда, как с намаляване на височината и ъгъла на наклона на стените на склада се променя дълбочината на проникване на утечките на въздух, при съпоставими скорости на вятъра. При голяма височина на склада (фиг.6.3) може да се очаква опасност от samozапалване почти еднаква за наветрената и подветрената му страна. Очевидно рециркуляционната зона зад фигурата подхранва достатъчно проникването на въздух в порестата среда през подветрената стена.



Фигура 6.3



Фигура 6.4

При по-големи височини се увеличават зоните с по-къса траектория на утечките, които доставят достатъчно кислород за нискотемпературното окисление на въглищата. Освен това разликата в разпределението на налягането на подветрената и наветрена страна се различава в относително тесни граници. Дългите траектории на фигурите, илюстрирани с непроменящата се посока на скоростните вектори са по-малко опасни поради значимото намаляване на транспортирания в дълбочина на склада кислород. Концентрацията му определя скоростта на окисление на въглищата.

Резултатите от численото моделиране на течението и полето на налягането във вътрешността на склада за въглища дават възможност да се оцени ефективната област на превантивна обработки с различни състави в стадия на нискотемпературно окисление, когато температурата на нагнетите петна по повърхността на купа е достигнала 55-65°C. Този извод се отнася както за обемно въздействащи превантивни агенти така и за различни изолиращи покрития.

## Раздел 6.3

### ВЛИЯНИЕ НА ХИДРОГЕЛА ПРИ ИНЖЕКТИРАНЕ И ПОКРИВАНЕ НА ПОЖАРНИ ОГНИЩА

Обработката на нагрети зони от склада с хидрогел във всички стадии на развитие на самозапалването на въглищата се извършва чрез инжектиране в дълбочина или чрез покриване на нагретите зони и други участъци за промяна на пътя на утечките на въздух.

Опитите са проведени с два размера полимер - натриев полиакрилат (CAS№9003-04-7). съответно:

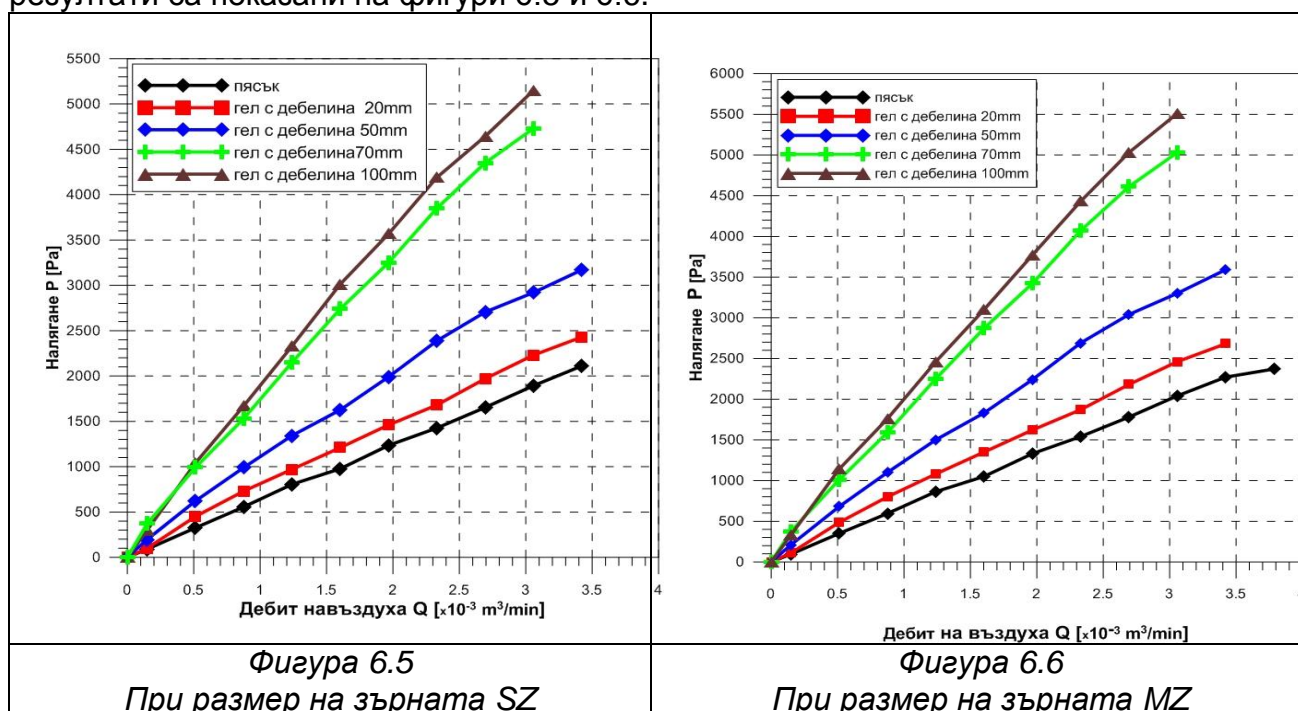
⇒ Размер SZ – под 1000  $\mu\text{m}$  с преобладаваща фракция +800...-1000  $\mu\text{m}$ ;

⇒ Размер MZ – от 850  $\mu\text{m}$  до 2000  $\mu\text{m}$  с преобладаваща фракция +1 -2 mm.

Смесването на въглища с два размера хидрогел дадоха неочаквани резултати за промяната на филтрационните характеристики на порестата среда.

За изследване поведението на гела при обработка на пожарни огнища чрез покриването му с различни дебелини гасителен агент е необходимо да се изследват скоростното поле и разпределението на налягането на преминаващия през средата въздушния поток. Загубата на налягане при двата вида абсорбер позволява да се определи оптималното количество гасителен агент, необходим за гасене на даденото огнище. Съществено влияние върху гасителния ефект оказва и пористостта на средата. Тя се променя в зависимост от едрината на използвания агент, което определя и неговото количество за получаване на изолиращ слой.

За постигане на целта бе проведен експеримент, при който се използва стенд за определяне проницаемостта на средата, описан в точка 6.1.1. За еталонно измерване се използва пясък с едрина - 0.8 mm като последователно върху повърхността му бе изсипван гел с определена дебелина на слоя. Получените резултати са показани на фигури 6.5 и 6.6.



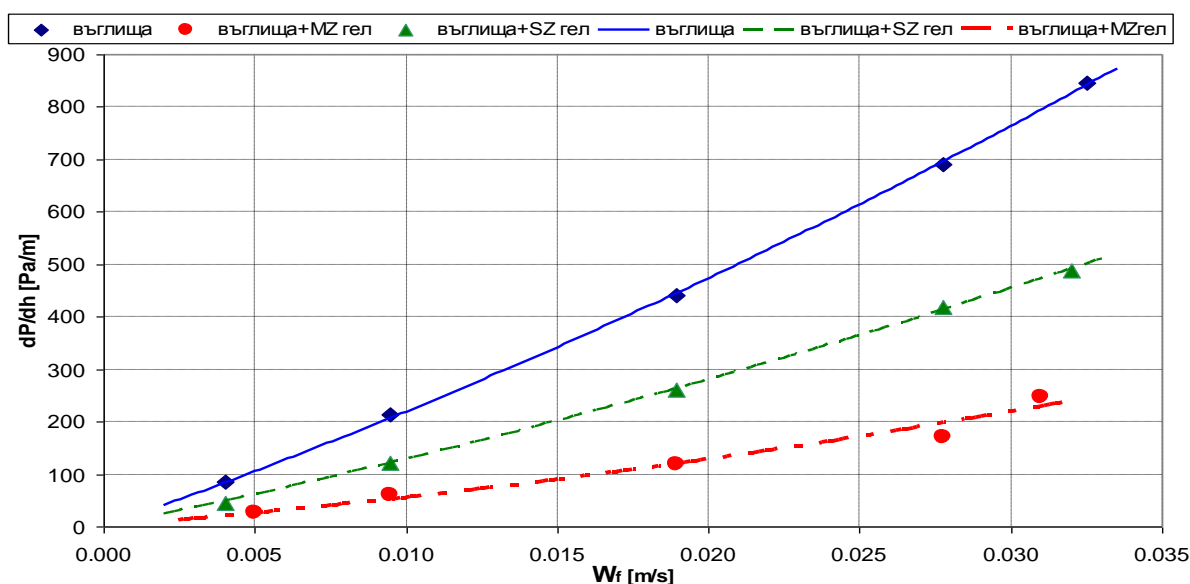
При дебелина на слоя 20 и 50 mm разликата в налягането на двата вида гел е незначителна. Но при дебелина по - голям от 50 mm въздушните междини в гела се преразпределят, при което се променя проницаемостта на средата. Тази промяна е по - характерна за малкия размер гел. Поради факта, че частиците с малък размер

се деформират под действие на собственото си тегло, при което размерите на въздушните междини се променят и проникваемостта на средата намалява. Това е от съществено значение при вземането на решения за профилактиката на ендогенната пожароопасност

Следващият етап от задачата бе изследване промяната на налягането при инжектиране на гел във въглищната матрица. В стенда за определяне проникваемостта на средата бяха насипани въглища с размер -80 mm (размер на въглищата, използвани за енергийно гориво в ТЕЦ) като върху тях бе насипан гел с различни дебелини. След това в хода на експеримента гела бе смесен с въглищата и изследвано разпределението на налягането при различни скорости на потока в определени сечения. Сравнението на градиента на налягането на фиг. 6.7 показва неговото намаляване при размесване на въглищата с хидрогел. С увеличаване размера на частиците на хидрогела загубата на налягане при преминаване през матрицата намалява. В табл.6.2 е показано изменението на характеристиките на порестата матрица след размесване на въглищата, с двата размера (SZ и MZ) хидрогел. С индекс "прим" са означени стойностите на величините след обработка с хидрогел.

Таблица 6.2

|             | $\alpha.\mu$<br>[Pa.s/m <sup>2</sup> ] | $\beta.\rho$<br>[kg/m <sup>4</sup> ] | $\alpha$ [m <sup>-2</sup> ] | $\beta$ [m <sup>-1</sup> ] | K<br>[m <sup>2</sup> ] | $\frac{\alpha'}{\alpha}$ | $\frac{\beta'}{\beta}$ | $\frac{K'}{K}$ |
|-------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------|
| въглища (B) | 20130                                  | 177181                               | 1.290E+09                   | 1.489E+05                  | 7.750E-10              | 1                        | 1                      | 1              |
| B + MZ      | 11804                                  | 111451                               | 7.567E+08                   | 9.366E+04                  | 1.322E-09              | 0.586                    | 0.629                  | 1.705          |
| B + SZ      | 4574.4                                 | 90116                                | 2.932E+08                   | 7.573E+04                  | 3.410E-09              | 0.227                    | 0.509                  | 4.401          |



Фигура 6.7

Коефициентът на инерционно съпротивление намалява с 2/3 до 1/2 докато коефициента на вискозно съпротивление се променя от 40 до 77% при смесване на въглищата с гел с едрина MZ и SZ. Финият гел намалява проникваемостта K на матрицата по-малко отколкото смесването на въглищата с по-големия размер MZ (фиг.6.7 и табл.6.2).

За тази промяна съществуват различни обективни и хипотетични причини:

➤ увеличаването на влажността на въглищата винаги води до нарастване на тяхната проникваемост и намаляване на загубата на налягане;

➤ средите с такава голяма анизотропност имат непрогнозируемо поведение при смесване с гел поради неясното преразпределение на най-фините фракции след инжектиране на гела и размесването му с въглищата;

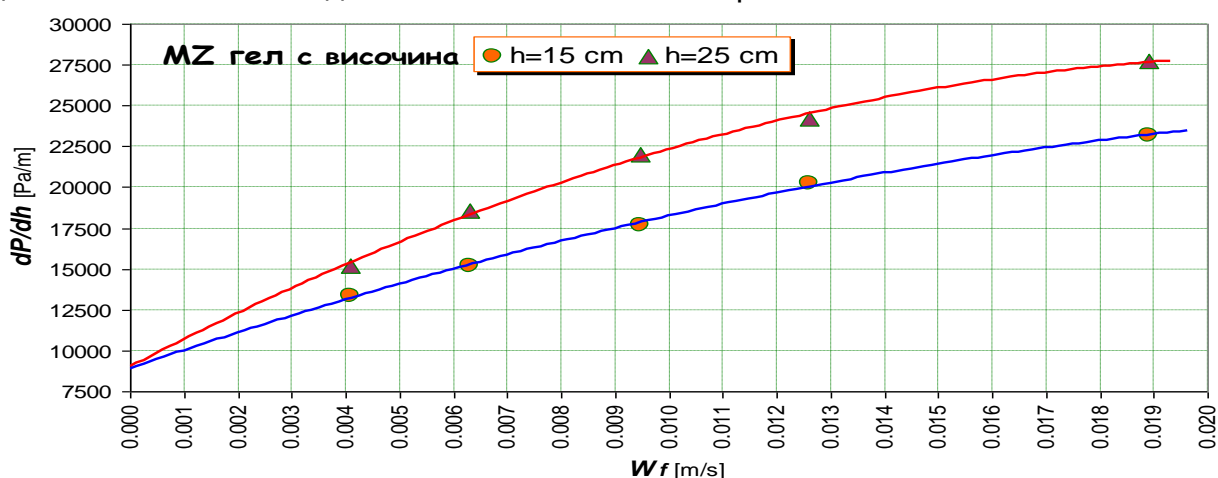
➤ хидрогелът е съставен от частици с изключителна еластичност, някои от които се деформират под действие на налягането на въздуха, наблюдавано при изследването като трептене на гела в зоните в които се реализира течението; така се променя сечението на филтрационните канали в съответствие с пулсациите на налягането на протичащия въздух;

➤ частиците на гела имат несравнимо по-малко съпротивление на триене в сравнения с ръбестата повърхност на въглищните късове;

➤ Опитите за покриване на порестата матрица с хидрогел се отнасят до получаване на реална представа за поведението на гела при създадена от вятъра или естествената (топлинна) конвекция депресия. Теоретично налягането на газовия поток трябва да преодолее и хидростатичния напор, който слоя гел върху порестата матрица създава. За малки скорости на Дарси това може да бъде описано с известната зависимост:

$$\frac{dP}{dh_{gel}} = -\frac{\mu}{K} u + \rho_{gel} \cdot g \quad (6.9)$$

Данните от опита на фиг.6.8 показват по-малко налягане на пробива (*скорост* = 0) на фигурата от теоретично изчисленото по формула 6.9. При опитите беше наблюдавано изтичане на въздух от горната повърхност на колоната с гел в 2 до 3 точки. Това очевидно е пътя с най-малко съпротивление.



Фигура 6.8

**На основание получените резултати от проведените изследвания могат да се направят следните изводи:**

- Математическото моделиране на течението на газ в пореста среда с голяма степен на анизотропност изисква експериментално задаване на основните характеристики на средата поради непредвидимо “разтваряне” и концентриране на фините фракции в макропорите, които по-едрите фракции създават.

- Двудименсионното моделиране на течението на въздух в пореста среда при коректно зададени характеристики на средата и на налягането по границите ѝ, дава достатъчно ясни резултати за разпределението на налягането и векторното поле в изследваната област, за проследяване на влиянието на формата на склада и ветровото натоварване върху опасността от samozапалване на въглищата.



- Инжектирането на хидрогел в пореста среда увеличава проникваемостта и намалява коефициентите на вискозно и инерционно съпротивление, което на този етап на познание може да бъде отразено с увеличаване на пористостта на средата в обичайните зависимости.

## ГЛАВА СЕДМА

### НОВ АГЕНТ ЗА ПРОФИЛАКТИКА И ГАСЕНЕ НА ЕНДОГЕННИ ПОЖАРИ

Изследванията свързани с изучаване механизма на възникване и развитие на ендогенните пожари основно са насочени към технологиите за добив на въглища, и в значително по - малка степен към съхранението им. Понастоящем мерките за управлението на риска от самозапалване на въглищата в складове и бункери са недостатъчни. Това налага търсене на нови и по – рационални методи и средства за намаляване на тази пожароопасност. В тази връзка в края на 2004 се започнаха изследвания върху възможностите за използване на водни гелове за профилактика и гасене на ендогенни пожари.

#### Раздел 7.1

### ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ХИДРОГЕЛ

#### 1. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

За получаване на първия първия полимерен гел с голям абсорбционен капацитет е съобщено през 1938. Той представлява натриева сол на полиакрилната киселина. Тази група полимери, които имат способността да сорбират многократно по-голямо количество вода от собственото си тегло. Заради това уникално свойство те са наречени суперабсорбенти.

Понастоящем на пазара от ограничен брой производители се предлагат три типа суперабсорбер – полиакриламид, натриев полиакриламид, калиев полиакриламид. Производителите на полиакриламид дават различни срокове на съществуване на суперабсорбера от 18 до 36 месеца. През това време той може да се регенерира чрез ново насищане с вода.

Различните видове абсорбер имат различни приложения. Най – често се използват за предпазване на дървени конструкции (къщи, дървета и др).от пожари.

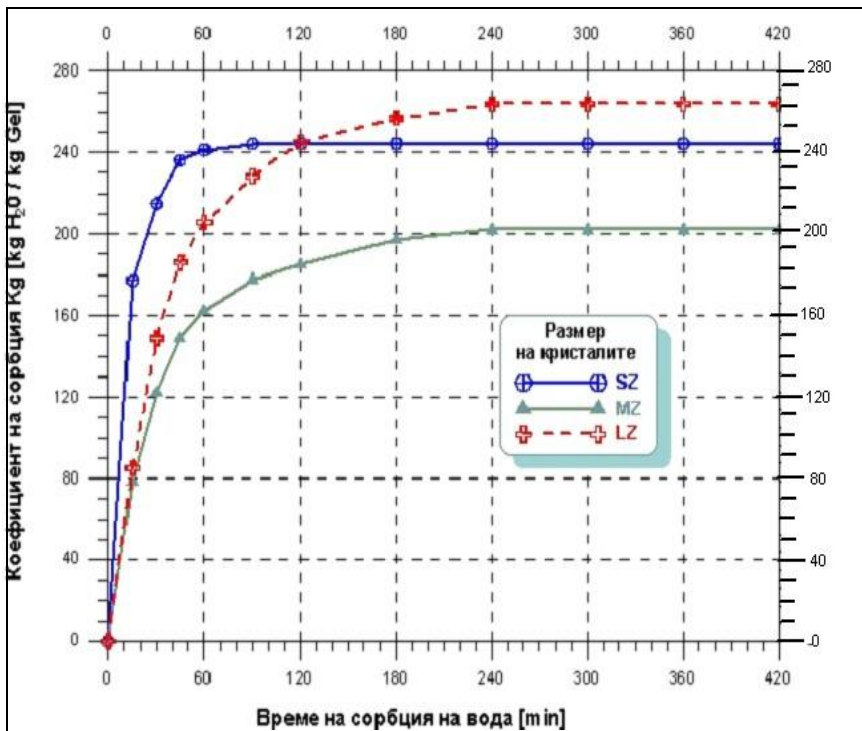
#### 2. Физически характеристики на суперабсорбера

Производителите на суперабсорбера предлагат три размера кристали. Зърнометричния им състав, насипната плътност и коефициента на разбухване са показани в табл.7.1

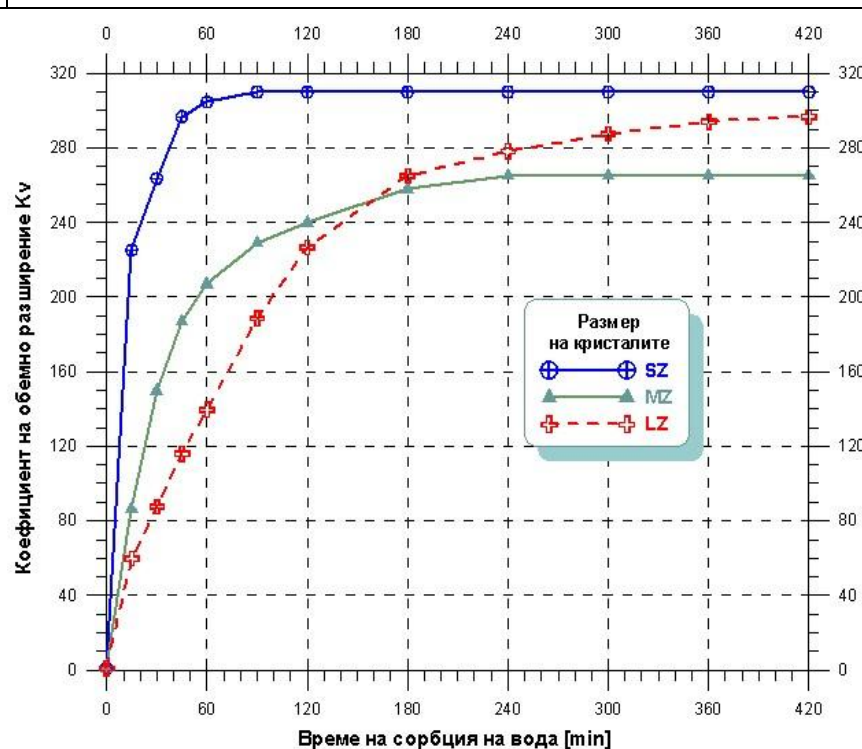
Таблица 7.1.

| Размер        | Код       | Зърнометричен състав<br>[ $\mu m$ ] | Насипна плътност<br>[ $kg / m^3$ ] | Коефициент на разбухване |
|---------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| малък         | <b>SZ</b> | - 1000                              | 785.6 ± 20.98                      | 1.69                     |
| среден        | <b>MZ</b> | +850 -2000                          | 718 ± 15.4                         | 1.85                     |
| голям         | <b>LZ</b> | +1700 -4000                         | 769 ± 18.78                        | 1.72                     |
| <b>СРЕДНО</b> |           |                                     | <b>757.5 ± 18.38</b>               | <b>1.75 ± 0.08</b>       |

### 3. Хидроабсорбционни свойства и обемно разширение.



Фигура 7.1 Коефициент на сорбция на различните размери гел

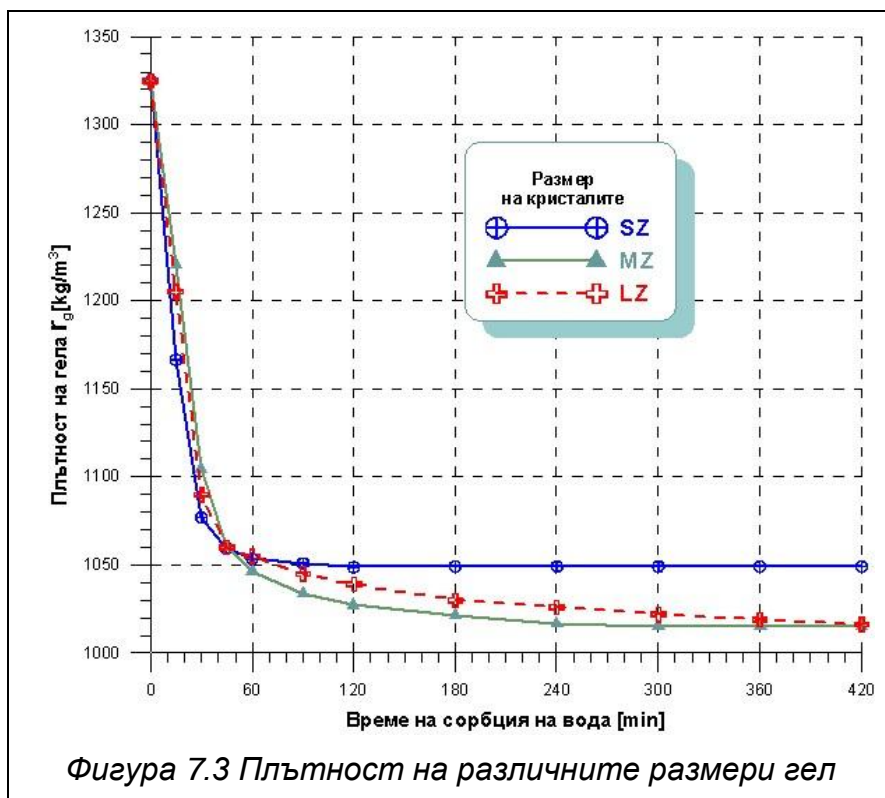


Фигура 7.2 Коефициент на обемно разширение на различните размери гел

За определяне динамиката на сорбцията на абсорбер с различни размери на кристалите бе проведен експеримент при който полимера се потапя във вода. През определен интервал от време се измерваше теглото на кристалите, като по този начин се следеше скоростта на хидратация в зависимост от времето. Опитът бе прекратен при установяване на пълно насищане на абсорбера с вода. Получените коефициенти на сорбция, плътност, и обемно разширение, за трите размера абсорбер SZ, MZ и LZ, са представени на фигури 7.1, 7.2 и 7.3.

Времето за насищане на кристалите с вода нараства с намаляване на размера на кристалите. Това време се колебае от 45-60 min. за най-малкия SZ размер до повече от 7 часа – за най-големия LZ размер. Коефициентът на обемно разширение (фиг. 7.2), е важна характеристика:

- за начина на смесване,
- за използване на времето за транспорт за поемане на вода и
- за порестата среда, в която се инжектира гелът.



Изменението на плътността на кристалите (фиг. 7.3) през периода на хидратация има значение за поведението на кристалите във водна среда при транспорт, след изтичане в пореста среда и за тяхното регенериране в тази среда при последващи обработки с вода.

Фигура 7.3 Плътност на различните размери гел

#### 4. Съвместимост на суперабсорбер с антипирени и пулпове

За проверка на съвместимостта на хидрогела с традиционни и нови антипирогени бяха извършени голям брой опити. За съжаление всички те (калциев хидроокис сода каустик, гипс, бентонитова глина, пепелина, амониев фосфат, калциев двухлорид, и др.) предизвикват намаляване на сорбционната способност на суперабсорбера или затрудняват регенерацията му след изсушаване. Най-добри резултати бяха получени при образуване на гел от пулп с малка консистенция на пепелина. В този случай регенерирането на гела е най-пълно в сравнение с всички други опити за добавки към него. Причината вероятно е в отсъствието на разтворими соли в пепелината от електрофилтрите на ТЕЦ.

#### 5. Поведение на хидрогела при нагряване

Образуването на хидрогел във въглища със среден размер от 2 до 15 mm не показва никакви отклонения, спрямо свободното гелообразуване. Регенерирането на гела е пълно след три последователни изпарявания на 1/3, 1/2 и 100% от свързаната в гела вода. При изсушаване на въглища заляти със смес от хидрогел и пепелина се наблюдава формиране на твърд слой. Той има аеродинамично съпротивление 3 до 4 пъти по-голямо от това на порестата среда на въглищата.

### Раздел 7.2

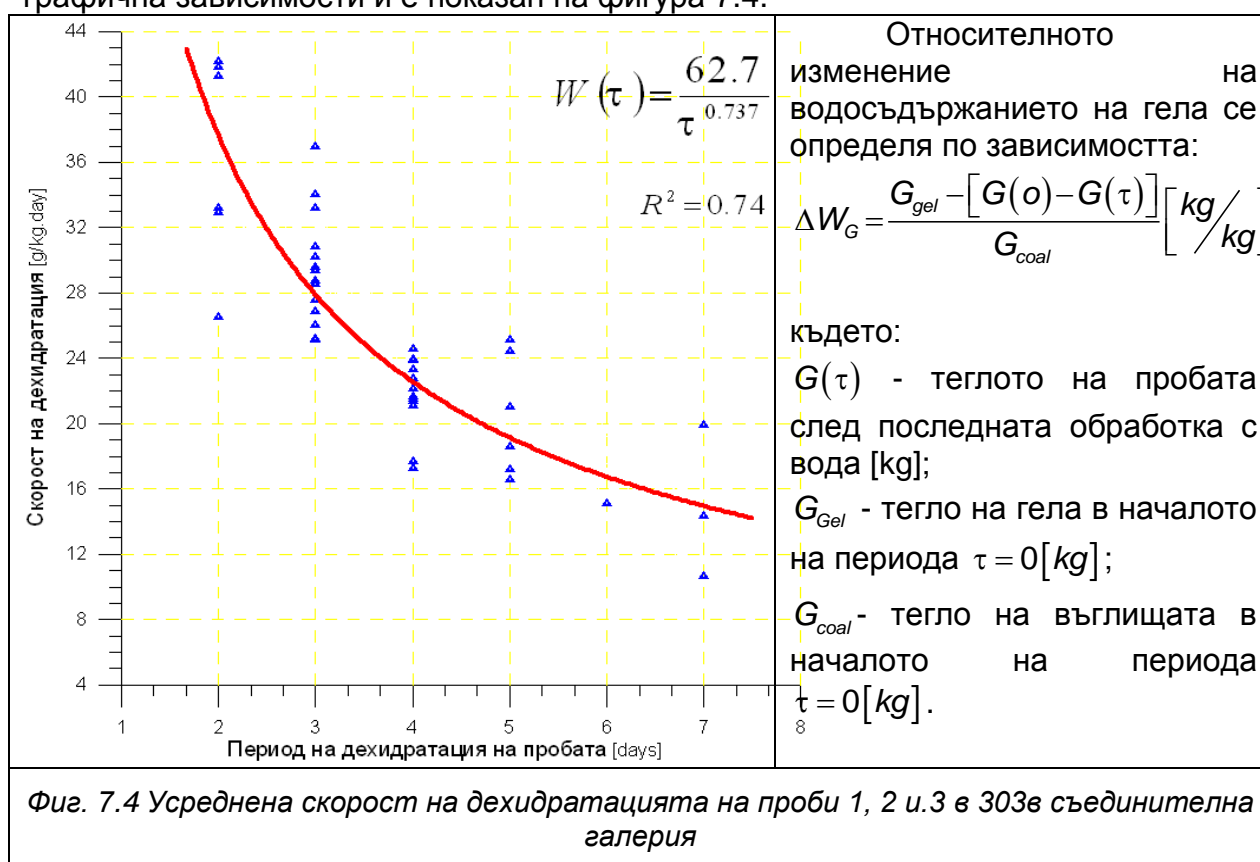
#### РУДНИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ДЕХИДРАТАЦИЯ НА ГЕЛА

В изследването се анализират две различни рецептури за приложение на суперабсорбера в борбата със samozапалванията на въглищата и праховите експлозии:

- смес от суперабсорбер и вода;
- пулп от суперабсорбер, вода и твърд материал – пепелина от електрофилтрите на ТЕЦ “Бобов дол..”

Различните технологии на приложение на суперабсорбера предполагат познаване на неговото поведение при различно разпределение във въглищата. За опитите беше използван натриев полиакрилат (SA) – едра фракция LZ . Рудничните изследвания се проведеха с въглищни проби от IV и IVa пластове в рудник “Бабино”. След смилане на цялата проба под сито 10 mm от нея се насипва в полусферичен перфориран пластмасов съд. Кристалите на суперабсорбера се поставят върху повърхността на въглищната проба, в средата на пробата или на дъното на съда. След това пробата се залива с 0.850 литра вода. Остава се в продължение на 90 минути за да се отцеди неабсорбираната вода от съда и пробата се претегля отново. След поставяне в мястото на опита се замерват и елементите на микроклимата. През периоди от 2 до 7 дни всяка проба се претегля, за да се отчете загубата на маса от изпарение на вода от гела. След това пробата се полива отново с вода и се измерват водопоглъщането и елементите на микроклимата. Опитите продължиха 88 дни.

Резултата от измерванията на дехидратацията на хидрогела е оформен като графична зависимости и е показан на фигура 7.4.



Резултатите от изследванията дават основание за следните изводи.

➤ Регенерирането на гела в руднични условия не създава технически проблеми. Изпитванията доказват възможността за 18 регенерации чрез обливане с вода. Периодът между две обработки с вода се колебае от 2 до 7 дни, при което гелът губи влажност от 40 до 240 g/kg.

➤ Скоростта на дехидратация  $W$  освен от размера на кристалите зависи и от положението на гела във въглищното натрупване. Съществуват три варианта за дислоциране на гела във въглищното натрупване.

➤ Предварителното оставяне на кристалите на пода и обработка с вода, след обрушване на въглищата върху тях, изисква изучаване на поведението на гела, когато той се намира “под въглищата”.

➤ Гелът да се инжектира през перфорирани тръби и инжектори, при което основната част от него остава “между въглищата”.

➤ Гелът да се полага върху повърхността на въглищното натрупване, чрез напръскване или разстилане. Тази дислокация е наречена от нас “гел върху въглищата”.

➤ В зависимост от положението на гела във въглищното натрупване са получени следните корелационни зависимости:

$$\frac{dW}{d\tau} = \frac{A}{\tau^b} \quad (7.2)$$

в която:

$\tau$  е времето за дехидратация (периода между две обработки с вода) в дни, days;

A и b са корелационни коефициенти, получени от опита.

На основание получените резултати може да се направят следните съществени изводи от рудничните опити:

1. При обливане с вода гелът поглъща най-голяма част от нея ( $A=108.4$ ), когато се намира между въглищата.

2. Гелът поема почти равно количество вода, когато се намира над въглищата ( $A=79.8$ ) и под тях ( $A=73.8$ ).

3. След първия ден най-бавно се изпарява водата от системата, когато гелът се намира под въглищата, а най-бързо – когато той е между въглищата. Средно положение по отношение на скоростта на дехидратация заема положение “гел върху въглища”, което макар и неочакван е представителен резултат. Едно възможно обяснение е, че в това положение гела предпазва най-добре въглищата от изсушаване, но самият той губи по-бързо влага, отколкото при положение “под въглищата”.

При профилактична или оперативна обработка на въглищен куп е по-добре гелът да се положи върху повърхността на купа. Там той ще трябва да бъде най-често обработван с вода, но ще задържи по ефективно процеси на самонагриване на въглищата.

### Раздел 7.3

#### ОХЛАЖДАНЕ НА ВЪГЛИЩАТА С ХИДРОГЕЛ

В правилата за пожарна безопасност в складове за въглища на много страни е забранено охлаждането на огнища на самозапалване с вода. В същото време водни суспензии, пени и разпенени структури на водна основа се използват от десетилетия за гасене на ендеогенни пожари в подземните мини. Водата е предпочитан основен агент в тези рудници поради високата си топлемост ( $C_p=4,1855 \text{ kJ / kg.K}$ ) и голяма специфична топлина на изпарение ( $r=2260 \text{ kJ / kg}$ ). Полимерният суперабсорбентен гел, при нагриване освобождава свързаната в молекулата си вода, само чрез изпарение, без преминаване през течна фаза. При взаимодействие със самонагрети въглища гелът не създава опасностите, които възникват от директно охлаждане с вода на огнища на самозапалване в складовете за въглища. Инжектирането на гел в пожарно огнище с висока температура освен ефективно охлаждане води и до инертизация на зоната от изпарената вода от гела. В тази връзка целта на това изследване е да се дефинира ефективността на охлаждане на въглищната матрица

при инжектиране на полимерен хидрогел за предотвратяване развитието на самозапалване във въглищни натрупвания и складове.

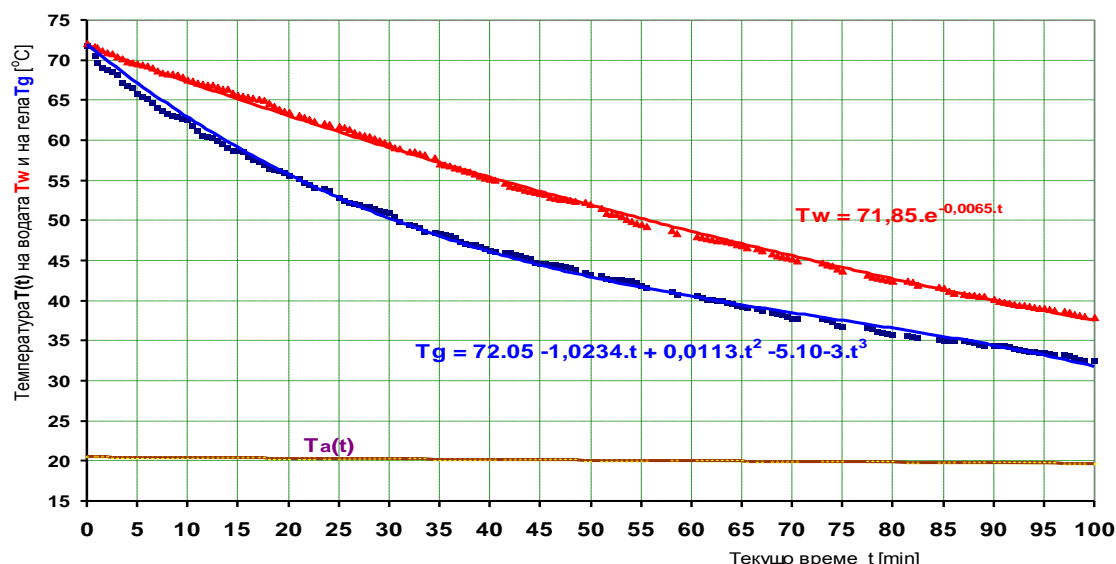
## 1. Топлоемкост на хидрогела

Опитите в началото на това изследване целяха създаването на представа за топлината, която гела може да абсорбира и за динамиката на неговото охлаждане при нормални атмосферни условия. В два стъклени съда с еднаква вместимост и форма се наливат:

⇒ вода с маса  $m_w = 0,200 \text{ kg}$  и

⇒ наситен гел с маса  $m_g = 0,200 \text{ kg}$ , без свободна вода в него.

Водата и хидрогелът се нагряват в пещ до зададена температура  $72^\circ\text{C}$ . С четири термодвойки се измерват температурите в средата на водата и гела двете и на  $8\text{mm}$  над повърхността им. Динамиката на измерение на температурата на водата и хидрогела е представена на фиг.7.5. При равни други условия и начална температура водата отдава по-бързо топлина от хидрогела, като апроксимациите на изменението на температурите във времето са показани на фигурата.



Фигура 7.5

Естествената конвекция във водата води до формиране на малко по-топъл слой на повърхността и, отколкото на повърхността на хидрогела. Релефът на откритата повърхност на хидрогела определя контактна площ с въздуха над него от 15.7 до 31.3% по-голяма от откритата повърхност ( $2,828 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$ ) на водата. Побавното отделяне на топлина от гела се дължи на начина на охлаждане – чрез изпарение на водата. Необходима е повече енергия за изпарение на водата от хидрогела заради механизма на изпарение, който изисква разкъсване на молекулярните връзки на свързаната в полимерната мрежа вода.

От кривите на фиг.7.5 се вижда как до 45-тата минута от началото на опита разликата в температурите на водата и хидрогела нараства, след което започва да намалява поради забавяне на загубите на топлина от хидрогела с приближаване до температурата на въздуха  $T_a$ .

На 100-тната минута от началото на опита температурите над водата и гела са почти изравнени, което показва че ефектът от изпарението след температура на гела и водата  $32\text{-}38^\circ\text{C}$  няма значение за по-нататъшното охлаждане на двете системи и загубите на топлина.

## 2. Специфичен топлинен капацитет на хидрогела.

Специфичният топлинен капацитет на хидрогела се определя експериментално по метода на смесването. В термоизолиран съд се налива топла вода в случая 0.298 kg и се изчаква установяването на постоянна температура 76.02°C. В темостатираната вода се насипва 0.203 kg наситен хидрогел с температура 76.1°C. Съдът се затваря и се измерва изменението на температурата на водата. След 10 минути температурата на сместа достига 52.8°C. Измерването продължава още 30 минути след изравняване на температурата на водата и хидрогела за определяне на константата на калориметъра. Опитът се извършва при същите условия с наситен хидрогел, образуван от трите размера полимерен суперабсорбент.

От топлинния баланс с отчитане на константата на калориметъра, е получена средна стойност на специфичния топлинен капацитет на хидрогела с различна едрина:

$$C_p^g = 4122 \text{ J / kg.K}, \quad (7.1)$$

при референтен топлинен капацитет на водата  $C_p^g = 4181,2 \text{ J / kg.K}$ .

Специфичния топлинен капацитет на хидрогела е  $\frac{C_p^g}{C_p^a} = \frac{4122}{1005} \approx 4.1$ , т.е.

приблизително 4 пъти по-голям от този на въздуха, който целим да заместим във въглищната матрица.

## 3. Топлинен капацитет на пореста въглищна матрица

Топлоемкостта на въглищата обикновено се изменя в границите от 1050 до 1550 J/kg.K. Тя зависи от влажността и степента на метоморфизъм. С увеличаване на съдържанието на влага, на летливи вещества и намаляване на съдържанието на въглерод Ср нараства.

Специфичният топлинен капацитет на въглищата е определен за въглища от пласт „Двоен” на рудник „Бабино” в Бобовдолския басейн. Късове въглища с маса 23.5g, 48g и 90g, нагreti до 98 °C, се потапят в 0.292 kg вода с температура 17.8°C и се измерва времето за установяване на постоянна температура. По време на опита температурата се записва през 15s. Резултатите от решението на балансовото уравнение дават специфичен топлинен капацитет на компактни въглища

$$C_p^c = 1372 \text{ J / kg.K}, \quad (7.2)$$

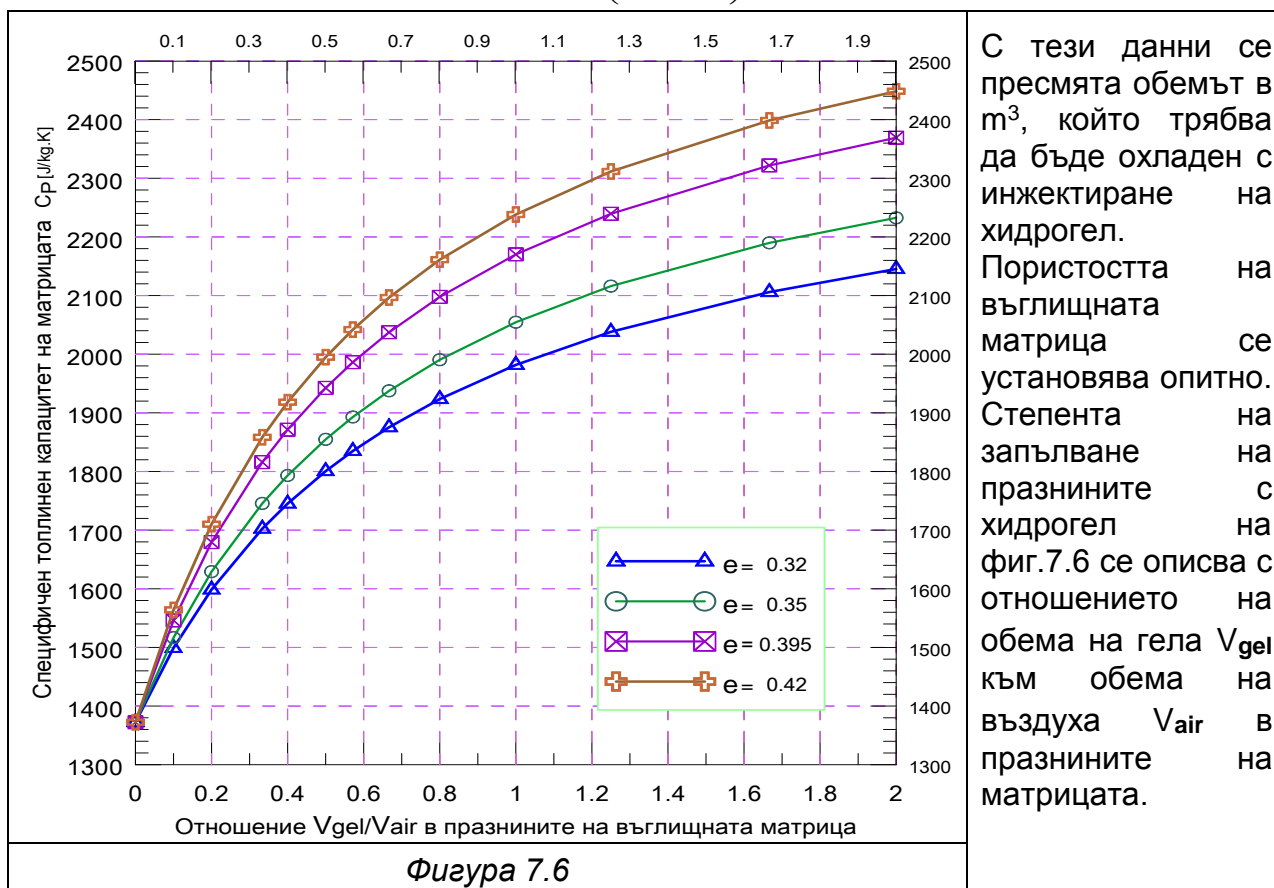
при същия референтен топлинен капацитет на водата. Топлоемкостта на хидрогела

$\left( \frac{C_p^g}{C_p^c} = \frac{4122}{1372} \approx 3 \right)$  е три пъти по-голяма от тази на въглищата.

## 4. Изменение на топлинния капацитет на матрицата при инжектиране на хидрогел

На основата на установените стойности на топлоемкостта на гела и въглищата може да бъде определено изменението на специфичния топлинен капацитет на въглищната матрица при инжектиране в нея на хидрогел. Практическата задача е да се определи какво количество хидрогел трябва да се инжектира в нагreti зони, в стадия на нискотемпературно окисление на въглищата, за да се охладят до безопасни температури. Този стадий се манифестира чрез температура на повърхността на въглищния куп 60-70°C. Дълбочината  $h_f$  на нагretата зона, в която се намира огнището на самозапалване, може да бъде определена чрез дълбочинни измервания, или да бъде приета равна половината от хидравличния диаметър  $d_f$  на

нагрятото петно на повърхността на фигурата (с площ  $S_t$  и периметър  $P_t$ ), но не по-малко от 2,5 m, както следва:  $h_t \geq \max\left(\frac{1}{2} d_t; 2,5\right) [m]$ , където:  $d_t = \frac{4S_t}{P_t}$  (7.3)



При запълване на половината от празнините в матрицата с хидрогел ( $V_{gel}/V_{air} = 1$ ) специфичният топлинен капацитет на матрицата след инжектиране на гела нараства (фиг.7.6) до:

- ⇒ 1981 J/kg.K - с 45%, при пористост  $\varepsilon = 0,32$  и до
- ⇒ 2313 J/kg.K - с 69%, при пористост  $\varepsilon = 0,42$ .

Тази по-висока ефективност при по-голяма пористост естествено е свързана с по-голям разход на гел за обработка на равен обем от двете матрици. При пълно водонасищане на полимера неговият планов разход за различно запълване на въглищната матрица с различна пористост може да бъде определен от изолините на фиг. 7.7 Те представят специфичния разход на полимер. Дименсията на стойностите на изолините на фигурата е  $\frac{kg \text{ полимер} - \text{суперабсорбент}}{m^3 \text{ обем на въглищната матрица}}$ .

Коефициентът на запълване **Kf** представя директно частта от въздушните празнини, които при дадена пористост се запълва с хидрогел.

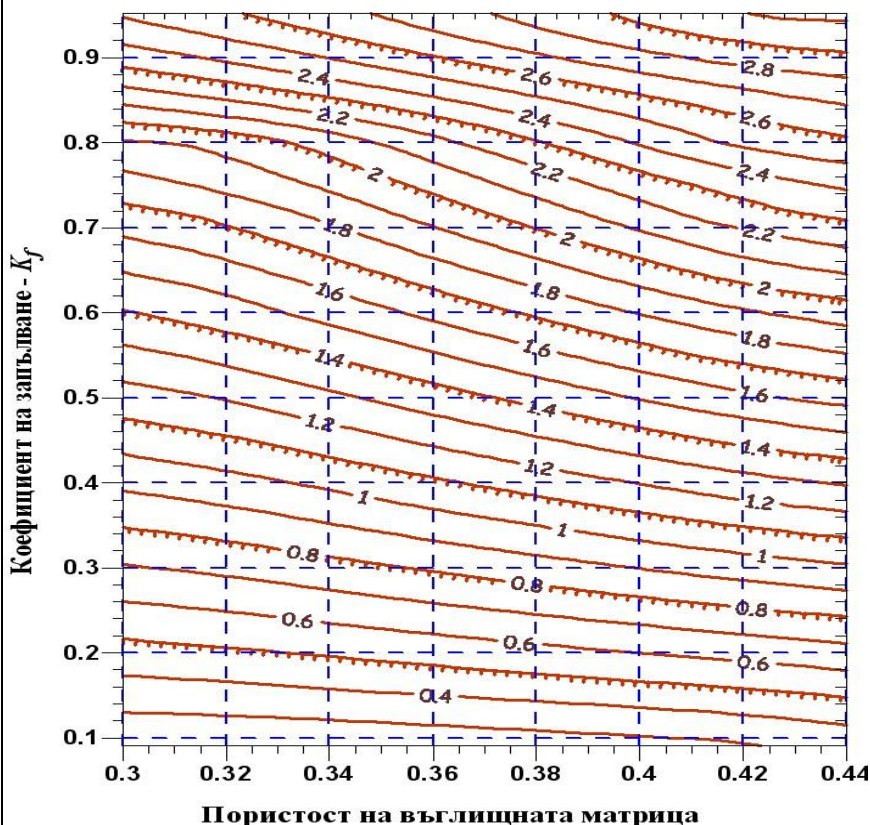
Например, ако нагретият обем, в която се планира инжектиране на хидрогел е  $15 m^3$  при средна пористост за склада  $\varepsilon = 0.32$  прието за достатъчно запълването на половината празнини ( $Kf=0.5$ ) с хидрогел необходимият специфичен разход на суперабсорбера, по кривите на фиг.7.7 е  $1.2 kg/m^3$ . Тогава за обработка на нагретия обем ще бъдат необходими  $18 kg$  ( $1.2 kg/m^3 \times 15 m^3$ ) полимер-суперабсорбент.

Преминаването на хидрогела през нагрети зони е свързано с изпаряване на водата от него и загуба на маса и обем Заедно с това обаче охлаждащият ефект от



изпарението на водата от гела има огромно влияние върху намаляване на температурата на въглищата и на матрицата като цяло.

Опитът и изследванията показват, че значимо самонагриване - до опасни температури, се наблюдава едва след изпарение на влагата от въглищата и въглищната матрица. Присъствието на хидрогел в нея има уникално висока превантивна ефективност. Описаното поведение на хидрогела при нагриване дава основание, в проектни изчисления за пожарогасене при високи температури в пожарното огнище да се приеме апроксимацията, че топлината на парообразуването на гела е еднаква с тази на водата



Фигура 7.7

. Грешката в изчислението ще бъде от страната на безопасността, защото ефективността на охлаждане на горящите въглища с хидрогел при всички условия ще бъде по-голяма от тази на водата. За нея обаче съществуват достатъчно представителни зависимости в широк диапазон на изменение на влияещите на парообразуването параметри. Самото изпарение на водата от гела протича побавно и без опасност от парова експлозия (физически взрив) поради неговия голям специфичен топлинен капацитет и сублимацията на водата от гела.

## ГЛАВА ОСМА

### ПОЛУПРОМИШЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ПОВЕДЕНИЕТО НА ХИДРОГЕЛА ПРИ ГАСЕНЕ НА ЕНДОГЕННИ ПОЖАРИ

За изследване поведението на новото пожарогасително вещество при различни условия е необходимо да се извършат експерименти свързани с поведението му при обработка на пожарни огнища, гасителен ефект и др. За тази цел е необходимо:

- провеждане на пилотни опити за изследване поведението на гела при горене;
- ограничаване развитието на пожара чрез използване на бариерни възглавници;
- повърхностно третиране на пожарно огнище;
- инжектиране на хидрогел в дълбочина;

## Раздел 8.1

### ПИЛОТНИ ОПИТИ ЗА ПОВЕДЕНИЕ НА ГЕЛА ПРИ ГОРЕНЕ

Първия етап от работата, бе свързан с пилотните изследвания за поведението на гела при обработка на пожарно огнище. Опитът се извърши в огнище със свободен обем 142 dm<sup>3</sup>, в което бяха насипани 18 kg дървени въглища. След запалване и образуване на тлеещи огнища върху тях беше поставен един ръкав с гел. Първата реакция беше прегаряне на обвивката в местата с най-висока температура (фиг.8.1), при което изтичащият от пробития ръкав гел, гравитационно се свличат и падат в зоната с най-висока температура С изпарението на влагата на първото парче на негово място пада следващото парче гел и това се повтаря докато огнището се покрие с гел (фиг. 8.2).



Фигура 8.1



Фигура 8.2

Проведените опити, показват възможността гела да се използва и под формата на полиетиленови торби и ръкави както за профилактика, така и за гасене на тлеещи огнища и пламъчно горене.

## Раздел 8.2

### ПОЛУПРОМИШЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ ЗА ГАСЕНЕ НА ПОЖАРИ С ГЕЛООБРАЗУВАЩИ СЪСТАВИ

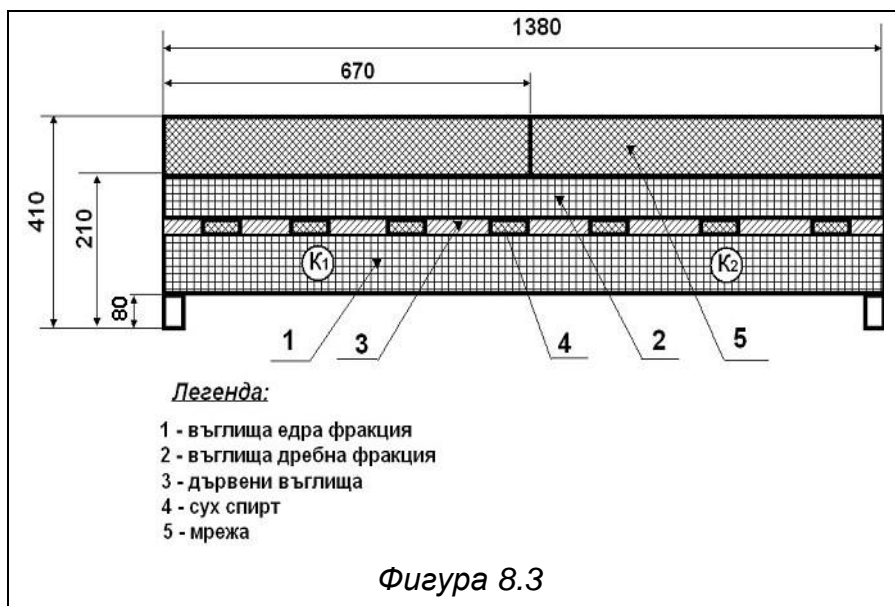
Прилагането на адекватни на големината на риска инженерни решения при различните технологични процеси е насочено в две направления

- профилактични мерки и мероприятия за недопускане създаване на условия за възникване на процеси на самозагряване и самозапалване;
- мероприятия за гасене на възникнал пожар.

В тази връзка чрез експериментиране на нови пожарогасящи състави като полимерните хидрогелове се цели да се намали опасността от възникване и развитие на ендогенни пожари, както и опасността от прахова експлозия при гасене на развит ендогенен пожар.

#### 1 Схема на опитната постановка

За провеждане на експеримента, свързан с гасене на ендогенен пожар с полимерен хидрогел бяха използвани кафяви въглища от рудник “Бела вода” град Перник.



Общото количество на изходната суровина бе 290 kg. За физическото моделиране на пожар в склад за въглища бе изработен метален стенд с размери показани на фиг.8.3 По широчината на стенда от двете му страни бяха пробити отвори за пропускането на въздух към пожарните огнища от осови вентилатори монтирани от двете страни на стенда.

Чрез безстепенно регулиране на оборотите на двигателите се контролираше количеството на въздуха, подаван към огнището в зависимост от фазата на горене. Въздуха от вентилаторите се подаваше посредством метални тръбопроводи с диаметър  $\Phi$  300 mm.

## 2. Характеристики на използвания суперабсорбер

Използваният при експеримента суперабсорбер е **натриев полиакрилат** със среден размер на частиците  $MZ - 850 \pm 2000 \mu m$  и насипна плътност  $718 \pm 15.4 [kg/m^3]$ . Използваното при експериментите общо количество на абсорбера бе определено на база получените резултати от изследване динамиката на сорбция на полимери с различни едрини. Общото количество на използвания гасителния агент бе 0.260 kg. За получаване на по-добра транспортабилност на получения гел абсорберът бе разтворен в съотношение с водата 1:300, в резултат на което се осигуриха 80 литра гел, необходими за провеждане на експериментите.

## 3. Ограничаване разпространението на тлеещо огнище с бариерни прегради

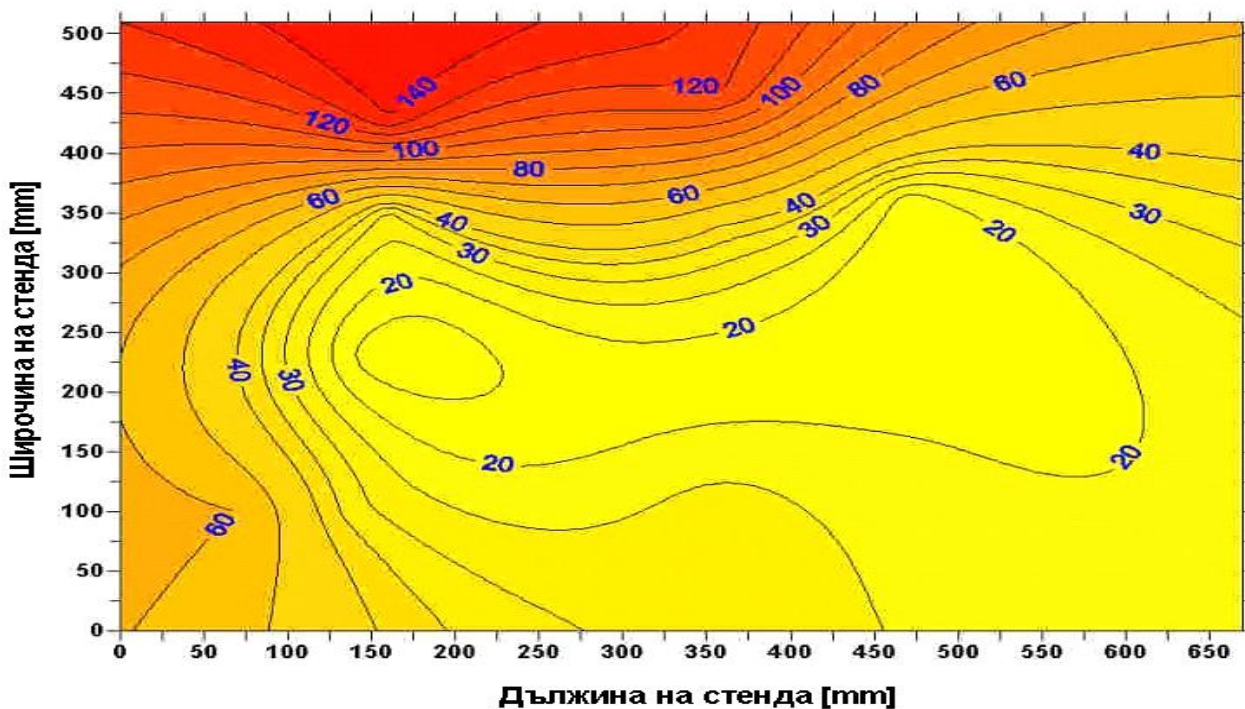
За определяне на количеството гел необходим за третиране на дадено огнище, е необходимо първоначално да се определят съответните количествени показатели, включващи пористост на материала, размер на петното на повърхността и дълбочината на разпространение. В случая пористостта на въглищата бе определена на  $\varepsilon = 0.30$ , а размерът на пожарното огнище  $0.36 m^2$ . За гасене на такава площ бяха определени три броя възглавници с размери съответно  $0.230m \times 0.500m$  осигуряващи гасителна площ от  $0.34 m^2$ . Във всяка от тях бе изсипано по 3 kg гел като общото количество на използвания гел бе 9 kg. След поставянето на гела възглавниците бяха запечатани и готови за употреба.

**Условия на опита.** Подготовката за провеждането на всички опити се проведе по един и същ начин. Той включваше зареждане на стенда с въглища. Общото тегло на материала бе 40 kg, а дебелината на слоя - 80 mm. Следващият пласт бе от дървени въглища с приблизителна дебелина 40 mm и тегло 3 kg. Целта бе създаване на ясно изразено тлеещо огнище. За запалване на огнището бе използван сух спирт поставен между отделните късове дървени въглища.

**Хронология на опита.** След запалване на пожарното огнище бяха включени вентилаторите за подаване на допълнително количество въздух. Четиридесет и пет

минути след запалване на огнището горенето бе в активната си фаза. Доказателство за това бе появата на жар по повърхността му. Температурата на горене се колебаеше между 780 и 792°C. Това бе началото на следващата фаза на експеримента - ограничаване разпространението му чрез използване на бариерни възглавници. Петнадесет минути след поставяне на полиетиленовите възглавници те бяха разкъсани, гелът бе запълнил междувъглищното пространство, като по този начин създаде бариера недопускаща развитието на пожара.

**Разпределение температурата на пожарното огнище на 100 mm в дълбочина след поставяне на бариерните възглавници**



Фигура 8.4

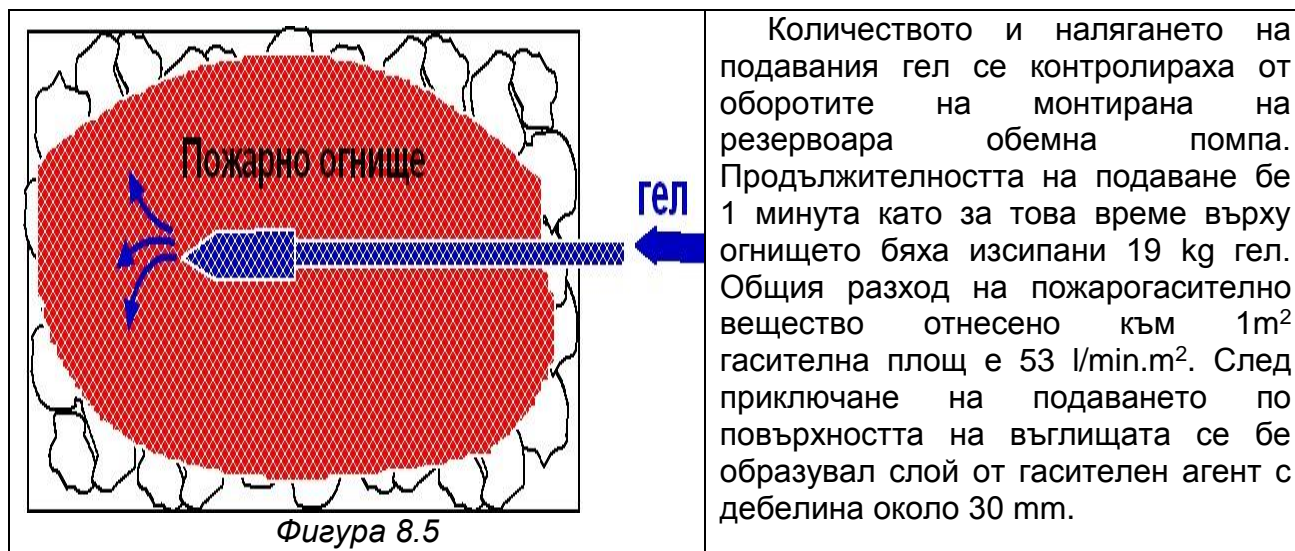
За доказване на гасителния ефект на гела се извършиха измервания на температурата на огнището в различни точки на дълбочина 100 mm. Резултатите са показани на фиг. 8.4. Направените измервания показват, че гелът е много добро бариерно средство. При достигане на огнището той отнема от толината както от пожара, така и от нагнетите въглища, намиращи се в близост до него. По този начин освен че се спира развитието на пожара, се прекратява и предаването на топлина към намиращия се в непосредствена близост материал. Благодарение на това този материал не може да се нагрее и запали.

## 2. Гасене на тлеещо огнище чрез заливане с гел

**Схема на опитната постановка.** Целта на експеримента бе да се изследват гасителните свойства на хидрогела при повърхностна обработка на развито пожарно огнище чрез създаване на топлоизолационен слой. За провеждане на експеримента първоначално бе необходимо да се определи количеството гел необходим за опита при определена пористост на средата -  $\varepsilon = 0.30$ , размери на огнището -  $0.36 \text{ m}^2$  (дефинирани от размерите на стенда) и 50 mm дебелина на изолационния слой. Общото количество на противопожарното вещество бе 19 kg.

**Хронология на опита.** След като разтвора бе готов за употреба се пристъпи към запалване на огнището. Двадесет и пет минути след началото на експеримента бе извършено измерване на повърхностната температура на пожарното огнище и в дълбочина. Направените измервания и външните белези показаха наличие на

активно горене на пожара. Температурата по повърхността варираше от 506 до 523°C, а в дълбочина от 249 до 263.8°C. Това даде началото на подаване на пожарогасителен агент към пожарното огнище (фиг. 8.5).



След приключване обработката на пожара измервания на температурата на огнището по повърхността и в дълбочина дадоха следните резултати:

- ☑ 21.9°C - на повърхността на огнището;
- ☑ 86°C –на дълбочина 150 mm под повърхността;
- ☑ 75°C - на 200 mm под повърхността.

Десет минути след спиране подаването на пожарогасящото вещество температурата на огнището отново бе измерена. Измерванията показаха температури на повърхността – 18.8°C на дълбочина 150 mm – 40.2°C и на 200 mm - 35°C. Измерванията на температурите в периода на гасене на пожара показаха един бърз и ефективен гасителен ефект на хидрогела.

Рязкото отнемане на топлина от огнището не позволи предаването ѝ извън зоната на горене, което ограничава развитието и разпространението на пожара. Друг важен ефект в този случай е създаване на изолиращ слой от гел. Той не позволява проникване на въздух в междувъглищното пространство, което минимизира вероятността от повторно възникване (рецидив) на самозапалване.

### 3. Гасене на тлеещо огнище, чрез инжектиране на гел във вътрешността на фигурата

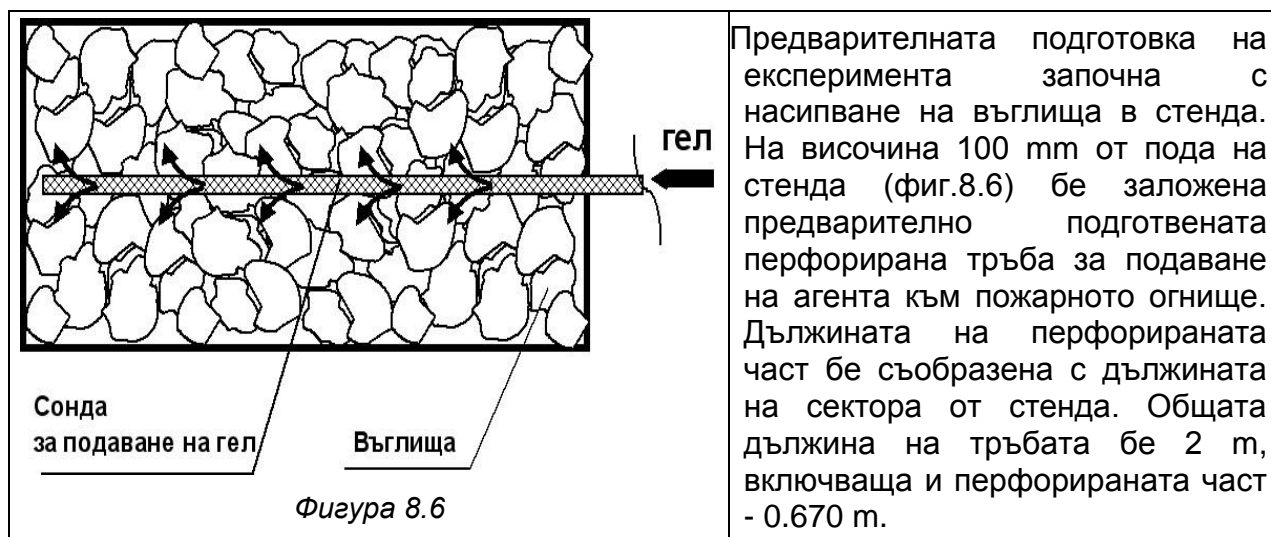
Един от основните начини за гасене на ендогенни пожари в складове и бункери е чрез инжектиране на пожарогасящи състави в дълбочина на пожарното огнище. По този начин се охлажда пожарното огнище и не се допуска нагряване на материала в близост до него. Дълбочината  $h_t$  на нагрята зона и посоката на разпространение могат да бъдат определени опитно чрез дълбочинни измервания или може да бъде приета равна на половината от хидравличния диаметър  $d_t$  на нагрялото петно на повърхността на фигурата (с площ  $S_t$  и периметър  $P_t$ ), но не по-малко от 2,5 m, както следва:

$$h_t \geq \max\left(\frac{1}{2}d_t; 2,5\right)[m], \quad \text{където: } d_t = \frac{4S_t}{P_t} \quad (8.1)$$

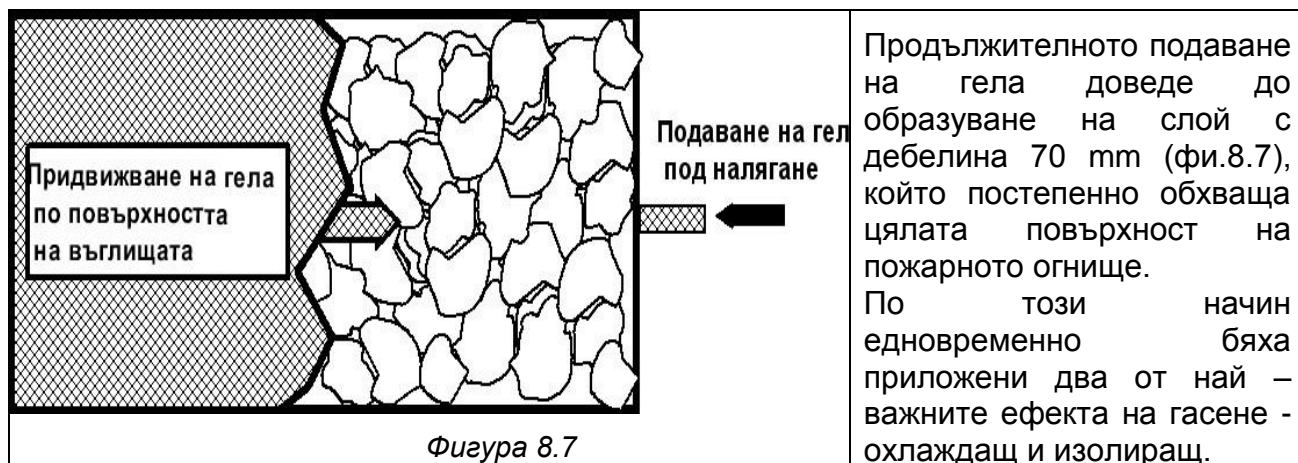
Посредством тези данни може да се определи обемът в m<sup>3</sup>, който трябва да бъде охладен чрез инжектиране на хидрогел. Степента на запълване на празнините с хидрогел се описва с отношението на обема на гела  $V_{gel}$  към обема на въздуха  $V_{air}$  в празнините.[135]. Тези данни дават възможност да се определят и дължината на

сондата, броят и диаметърът на отворите и начинът на разположението им по дължината на сондата.

**Схема на опитната постановка.** Предварителната подготовка за провеждане на експеримента се състои в определяне на количеството гел, необходим за запълване на 90% от въздуха в междувъглищното пространство. Това означава, че при обработваем обем  $0.63 \text{ m}^3$ , коефициент на запълване –  $K_f = 0.9$  и пористост  $\varepsilon = 0.30$  по монограмата описана в глава 7 се определя разход на гел за  $1 \text{ kg/ m}^3$ . В случая разхода е  $M_g = 2.35 \text{ kg/ m}^3$ . Общото количество на гела необходим за запълване на празнините е  $2.35 \text{ kg/ m}^3 \times 0.63 \text{ m}^3 = 1.5 \text{ kg/ m}^3$  гел.

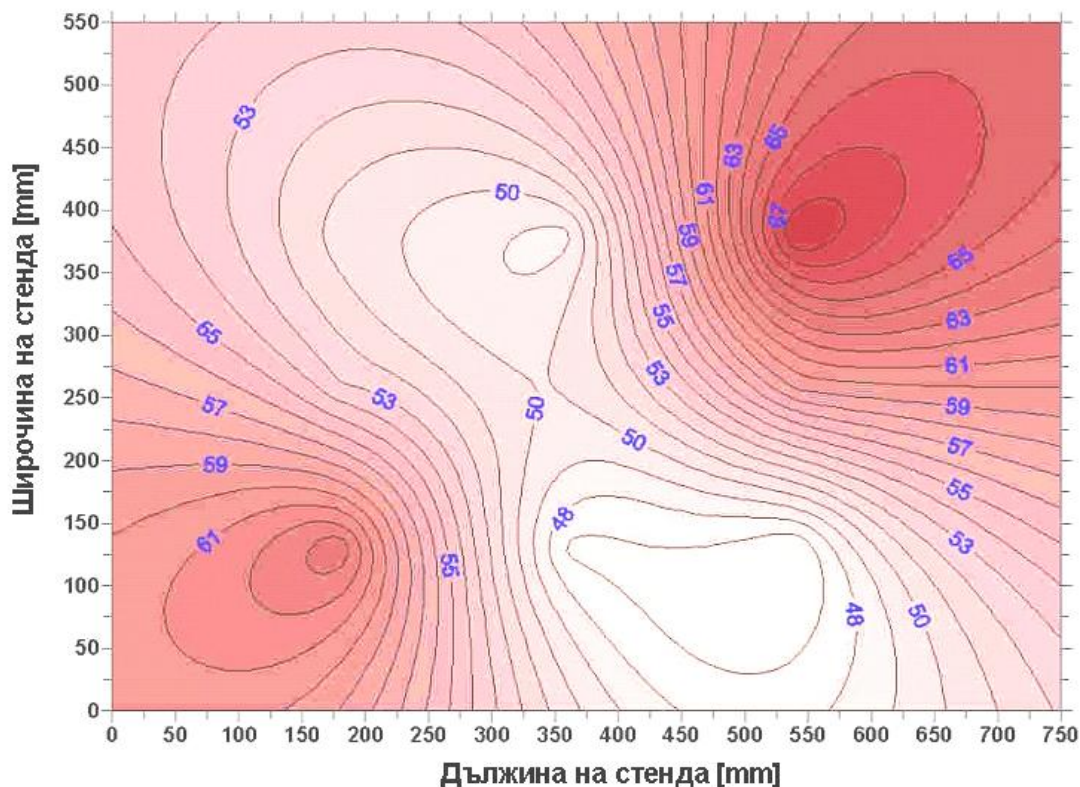


**Хронология на опита.** Шестдесет минути след запалване на огнището бе измерена температурата на въглищата на дълбочина 80 mm от повърхността за установяване наличие на развит ендегенен пожар. Измерванията се извършиха в 9 точки равномерно разпределени по повърхността на огнището. Получените резултати показаха наличие на активно действащ пожар, като температурата в отделните точки се променяше от 573 до 348°C. Това бе показател за начало на инжектирането на гела в огнището. Подаването на гела във фигурата продължи 2 минути, като за това време бяха нагнетени 30 kg агент. Общия разход на гела отнесен към  $1 \text{ m}^2$  гасителна площ е  $42 \text{ l/min.m}^2$ . При пускане на помпата гелът първоначално запълваше празнините около тръбата като придвижвайки се в различни посоки по линия на най – малкото съпротивление част от него излезе и на повърхността на фигурата. Фиг. 8.30



След спиране на подаването на гела температурата на огнището отново бе измерена в същите точки на същата дълбочина както и при началото на опита. Резултатите от измерванията са показани на фиг.8.8.

Разпределение температурата на пожарното огнище на 100 mm в дълбочина след инжектиране на гела



Фигура 8.8

Получените резултати показват, че предлаганото ново пожарогасително вещество притежава много добри гасителни свойства. Бързото понижаване на температурата на огнището при инжектиране на гела води до ограничаване развитието и разпространението на пожара. По този начин не се допуска създаване на условия за възникване на големи производствени аварии. При използване на гела като пожарогасителен агент на открито важно е да се отбележи, че с течение на времето дебелината на слоя гел и структурата му се променят Тази промяна зависи от няколко фактора като температурата и влажността на въздуха, скоростта на вятъра и др. Колкото е по – ниска температурата на околната среда и колко е по – висока влажността толкова загубата на вода от гела ще бъде по – малка. Благодарение на факта обаче, че гела може да се регенерира обработката му с вода води до възстановяване до първоначалното му състояние. Това го прави изключително ценен пожарогасителен агент.

#### 4. Гасене на тлеещо огнище с разпръснатата вода

**Постановка на опита.** Подготовката на огнището за запалване се извършва по същия начин както и при останалите експерименти. За подаване на вода към огнището се използва инсталация използвана при другите два опита. За подаване на водата към огнището бе използван винтов разпръсквач монтиран на шланга. Целта бе да се създаде разпръснатата водна струя, която да покрива по - голяма площ от пожарното огнище Размерите на площта, която обхваща разпръсквача, зависят от дебита на помпата, който в случая се определя от оборотите и. За тази цел

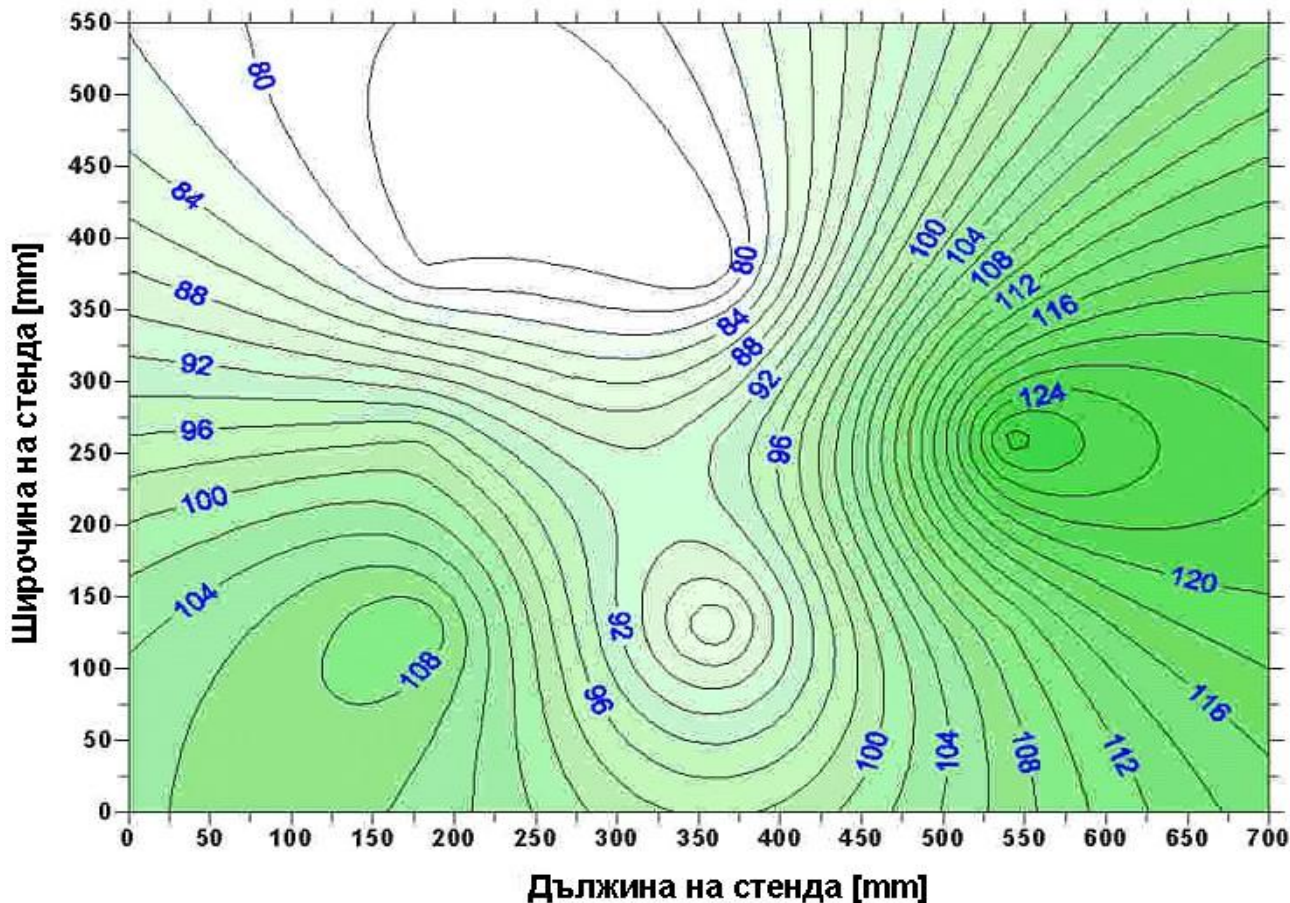
предварително експериментално бяха определени подходящите обороти на помпата, които позволяват получаването на максимално отворен факел.

**Резултати от опита.** За установяване наличието на активно горене 30 минути след започване на експеримента бе измерена температурата на огнището в 9 точки равномерно разположени по цялата му площ. Измерванията се извършиха на дълбочина 50 mm. Получените резултати показаха, че е налице развито пожарно огнище, което позволи да се премине към следващата фаза от експеримента - гасенето с вода.. Предварително резервоарът бе напълнен с 40 литра вода, която посредством помпата бе излята върху пожара. Поради това, че водата изтичаше между въглищата бе необходимо добавяне на още 40 литра за осигуряване на добър гасителен ефект. Така общото количество вода за гасене на 0.36 m<sup>2</sup> пожарно огнище бе 80 литра, като времето за подаването ѝ бе 3 минути. По този начин беше определен общия разход на пожарогасително вещество отнесен към 1m<sup>2</sup> гасителна площ - 75 l/min.m<sup>2</sup>

След това температурата на огнището отново бе измерена в същите точки както и в началото. Резултатите от измерванията са показани в графика 8.9.

Общото количество на водата, необходима за ликвидиране на пожара, е значително по-голямо от използваното при гасенето с гел. Това е поради факта, че независимо от едрината на въглищата между отделните въглищни късове винаги остават празнини. Те подпомагат придвижването на водата през въглищата, като по този начин значително се намалява гасителния и ефект.

**Разпределение температурата на пожарното огнище след обработване с вода**



Фигура 8.9



## Раздел 8.3

### СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Анализът на получените от експеримент № 1 данни показва, че хидрогелът успешно може да се използва като бариерна преграда, недопускаща развитието и разпространението на пожар в складове за съхранение на горими суровини и материали. Отнемането на топлина от пожарното огнище от една страна намалява температурата му, като прекъсва механизма на развитие на горенето, а от друга не позволява предаването на топлина на намиращите се в близост въглища.

Използването на гела като средство за гасене на пожар на повърхността или във въглищна фигура (експеримент №2, №3) съчетава два от най – важните гасителни ефекти на веществата – охлаждащия и изолиращ. Данните от експеримент №2 показват, че при обработване на горяща повърхност с гел температурата на огнището за кратко време спада под критичната температура на запалване. Това се дължи на факта, че гелът се задържа до пожарното огнище, при което водата в него се изпарява и охлажда огнището. Количеството на свързаната в гела вода е достатъчна за да се намали температурата на горящите вещества и да прекъсне процеса. Освен това покриването на огнището с гел го изолира от околната среда и не позволява проникването на въздух в междувъглищното вещество. Предимството на използване на гела при гасене на ендегенен пожар в склад, е че той може да се инжектира директно в огнището като по този начин го охлажда и прекъсва процеса на нагриване на близолежащия материал и не позволява развитие на процеса на горене.

Разликата между използването на гел и на вода за гасене на пожари е тази, че количеството на подаваната вода ( $75 \text{ l/min.m}^2$ ) е 1.5 пъти по - голямо от това при повърхносната обработка с гел ( $53 \text{ l/min.m}^2$ ) и 2 пъти при инжектирането му ( $42 \text{ l/min.m}^2$ ). Това се дължи на факта, че при обработка на огнището водата преминава бързо през пукнатините на междувъглищното вещество и изтича. Реално само една малка част от нея действа като гасителен агент и охлажда огнището. Друг недостатък е, че като гасящо средство при висока температура тя се разлага на водород и кислород, който се сорбира от въглищата и създава условия за възникване на повторно нагриване и самозапалване на суровината. Не на последно място е опасността от т. нар. парова експлозия, която може да се получи при гасене на развито пожарно огнище.

С извършените полупромишлени експерименти за изследване действието на хидрогела при гасене на пожари се доказва добрият му гасителен ефект. Следователно той успешно може да бъде приложен както за активно гасене на пожари, така и като бариерно средство за недопускане разпространението им в складове и бункери.

## ГЛАВА ДЕВЕТА

### УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ САМОЗАПАЛВАНЕ

#### Раздел 9.1

#### МЕРОПРИЯТИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ РИСКА ОТ САМОЗАПАЛВАНЕ В СКЛАДОВЕ

Управлението на риска от самозапалване в складове, бункери и силози е съвкупност от административни, инженерни и технологични решения, насочени към недопускане възникването на процес на самозапалване. Първият етап на тази дейност е свързан с разпознаване и анализ на причините, водещи до възникване на ендегенен пожар. Следващият етап е ограничаване или недопускане действието на

<sup>1</sup>Управление на риска от ендегенни пожари в насищища, складове и бункери"

тези причини посредством адекватни мерки и мероприятия. На последно място е елиминиране действието на вече развит пожар чрез използване на различни противопожарни състави.

Управлението на риска от самозапалване при складове за въглища и други материали е комплекс от дейности свързани с:

### **Изисквания свързани с изграждане на складовете;**

#### **1. Избор на място**

- на мястото на съхранение на въглищата не трябва да има горими материали.
- подложката на склада да бъде от негорим плътен материал
- осигуряване на допълнителна площ (приблизително 1/3 от общата), прилежаща към склада за обработка на горящи и тлеещи въглища
- външни източници на топлина като парни или канализационни линии да не минават под склада
- в склада да бъде изграден канал да оттичане на дренираните води
- осигуряване на условия за оттичане на водата от валежите и минимизиране ерозията на страните

#### **2. Избор на тип на склада и начин на насипване на материала;**

Типът на склада се определя в зависимост от свойствата на материала, който ще се складира, и наличната техниката. От своя страна техниката определя начина на насипване на склада и обработването му.

#### **3. Ориентация на складовете**

Ветровото натоварване е една от основните причини за възникване на самозапалвания в складове. Поради тази причина ориентацията им спрямо розата на ветровете играе важна роля при управлението на риска от ендеогенни пожари. Складовете трябва да се ориентират така, че късата им стена да бъде от наветрената страна.

#### **4. Определяне технологичните параметри на складовете**

Друго важно мероприятие за намаляване на риска от самозапалване е определянето на технологичните параметри на складовете - височина -  $H$ , дължина на късата страна на долната му основа –  $L$  (AB), ъгъла на наклона на стените –  $\alpha$ . Това ще позволи да бъдат изчислени и други експлоатационни параметри, които характеризират формата, площта и обема му, пряко свързани с пожарната безопасност. Изчисляването на основните параметри на склада се извършва по разработена и утвърдена методика. Тя дава възможност чрез определяне и промяна на някои показатели да се търси оптималната форма и размери на склада в зависимост от зададените параметри. Освен това изчисляването на площта на стените на складовете дава възможност за управление на ветровото натоварване на складовете.

#### **5. Осигуряване на подходящи ъгли на откосите**

Изискванията относно осигуряване на подходящи ъгли на откоса съобразно вида на съхранявания материал са:

1. за антрацитни и черни въглища - до 35 °;
2. за кафяви и лигнитни въглища от - 25° до 35 °;
3. за кокс - до 40 °;

4. за брикети - до 30 °.

#### **6. Екранировка от вятъра;**

Екранировката на наветрената страна на склада с хидрогел намалява проникването на въздух в междувъглищното пространство и не позволява създаване на условия за нискотемпературно окисление.

#### **7. Уплътняване на склада;**

Важно значение за пожарната профилактика има уплътняването на складовете. За доброто им уплътняване важна роля играят метеорологичните условия. Най – трудно то се извършва през зимния период поради факта, че въглищните късове са замръзнали и не могат да се уплътнят. Основен проблем се оказва и количеството на валежите през пролетно – есенния сезон. Голямото количество стичаща се вода образува пукнатини, които трудно се запълват и се стига до недобро уплътняване. Не на последно място е и опасността от затъване на верижната или колесната техника.. Най – добро уплътняване се получава по време на сухи климатични условия при невисока влажност и температура.

Не по – малко сложен и е въпросът, свързан с гасенето на ендогените пожари. Невзетите или неадекватно приложените мерки или мероприятия могат да доведат до развитие на пожар. Във връзка с това предлагам:

**1. Мониторинг на опасните зони в складовете чрез:**

**2. Мерки за ликвидиране на действащо пожарно огнище**

На основание представените технологични параметри на складовете предлагам следната методика за изграждането и експлоатацията им.

#### **Методика за изграждане на складове за въглища**

##### **1. Изисквания към изграждането на складовете:**

**1.1 Избор на място за изграждане на складове;**

**1.2 Избор на типа на склада и начина на насипване на материала;**

**1.3 Ориентация на складовете спрямо технологичните обекти и розата на ветровете;**

**1.4 Определяне височината на складовете;**

**1.5 Осигуряване на подходящи ъгли на откосите;**

##### **2. Изисквания към съхранението на суровината;**

**2.1 Въглища с различна склонност към самозапалване да не се складираат заедно;**

**2.2 Сухи и мокри въглища да не се съхраняват заедно;**

**2.3 “Стари” и новодокарани въглища, да не бъдат съхранявани заедно.**

**2.4 Да се съхраняват заедно едри и дребни фракции въглища;**

**2.5 Намаляване едрината на въглищните късове, с цел недопускане проникването на въздух в междувъглищното пространство;**

**2.6 Подържане температурата на въглищата под критичната за дадения вид;**

**2.7 Екранировка от вятъра;**

**2.8 Запечатване на склада чрез обработката на въглищата с подходящи антипирогени;**

**2.9 Уплътняване на склада;**

### **3. Изисквания за профилактика и гасене на пожари в складове:**

**3.1 Мониторинг на опасните зони в складовете чрез:**

3.1.1 контрол на температурата на въглищата;

3.1.2 наблюдение за поява на признаци на самозапалване – изпотпяване, пара, мъгла, пушек, огън и др.

**3.2 Мерки за ликвидиране на действащо пожарно огнище**

3.2.1. при температура на въглищата 60°C те се изнасят от склада и се разстилат се на предварително подготвена площадка и се изчаква температурата им да спадне до нормативно установените;

3.2.2. при температура по – висока от 70°C горящите въглища се изгребват, разстилат и обработват с антипирогени.

3.2.3 при поява на признаци на самозапалване повърхността на огнището да се обработи с хидрогел подаван с помощта на помпа;

3.2.4. при активен пожар за ограничаване развитието му да се използват бариерни възглавници.

3.2.5. за потушаване на пожарно огнище в дълбочина може да се използва гел подаван принудително посредством сонда.

## **Раздел 9.2**

### **УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ САМОЗАПАЛВАНИЯ В БУНКЕРИ И СИЛОЗИ**

Рискът от самозапалване при бункерите и силозите се управлява с инженерни и административни решения свързани с намаляване на вероятността от възникване на процес на нискотемпературно окисление. Тези дейности включват:

1. Избор, проектиране и изграждане на бункер или силос с подходяща форма и размери недопускащи, полепване на материал и съобразени с технологията на работа.

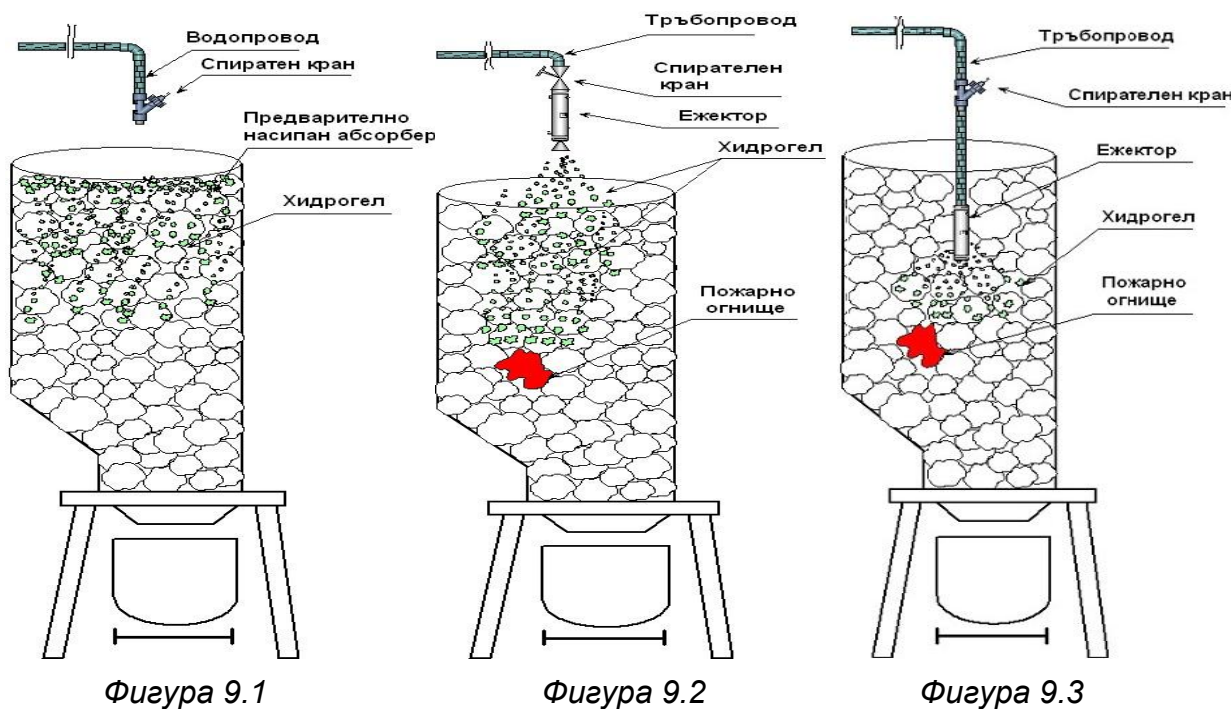
2. Избор на материал за изработване на бункера или силоза.

3. Избор на подходящ материал за облицоване на бункерите или силозите против полепване.

На основание направените проучвания и извършените полупромишлени експерименти могат да се предложат различни технологични схеми и свързаните с тях методики за профилактика и гасене на пожари с полимерни хидрогелове.

При използване на гелове като профилактично средство в зависимост от състоянието си гелът може да бъде под формата на готов разтвор – гел или като сухо вещество. Сухото вещество се изсипва директно върху въглищата (фиг. 9.1) като след това се обработва с вода до получаване на гел. Той запълва междувъглищното пространство и не позволява възникване на самонагриване. При използване на готов разтвор на гел той се пръска по повърхността на въглищата до получаване на плътна покривка (фиг. 9.2). При източване на въглищата от бункера гела се смесва с тях като ги омокря и не позволява възникване на процес на

самозапалване. При активно гасене на пожари в бункер гелът може да се подаде директно към пожарното огнище (фиг. 9.3) посредством сонда. По този начин освен гасителния ефект върху огнището гелът оказва и охлаждащ върху въглищата, намиращи се в близост до него като предотвратява нагряването и запалването им от горящия материал.



Фигура 9.1

Фигура 9.2

Фигура 9.3

Във връзка с изложеното предлагам мерки за мониторинг и гасене на пожари в бункери и силози.

### **Мерки за мониторинг на ендегенната пожароопасност в бункери силози**

1. Не се допуска съхранение на материал в бункери и силози за период по - голям от инкубационния за дадената суровина;
2. Не се допуска съхранение материали с различна склонност към самозапалване;
3. Не се допуска за съхранение на нееднороден материал;
4. Не се допуска мокър материал в бункерите и силозите;
5. Не се допуска използване на вода за измиване при наличие на материала в бункерите;
6. Не се допуска смесване на сух и мокър материал;
7. Не се допуска вкарване на горящ материал в бункерите и силозите;
8. Контрол на състоянието на съоразението след източване на материала (за наличие на полепвания в опасните зони);
9. Премахване на полепванията (при наличие на такива) с подходящи средства и мероприятия;
10. Не се допуска използване на вода за премахване на полепвания.

### **Мерки за профилактика и гасене на пожари**

1. Изграждане на подходяща система за ранно откриване на пожари;
2. Използване на полимерни хидрогелове в твърдо и хидратирано състояние;
3. Постоянен контрол на температурата на материала в бункера или силоза;
4. Постоянен контрол на първичните признаци за самозапалване – изпотяване на материала, мъгла, газова картина, мирис, дим);
5. Да не се използва вода или втечнени газове в силози и бункери поради опасност от парова експлозия и подуване на материала;
6. Допуска се гасене на пожар с използване на вода само в комбинация на повърхностно активни вещества;
7. Инжектиране на инертни газове - N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>;
8. При гасене с газообразни продукти посоката на подаване на газа е отдолу нагоре;
9. Гасене на пожари чрез използване на пара;
10. Гасене чрез използване на нискократни пени;
11. Гасене на пожари чрез използване на хидрогелове:
  - за повърхностна обработка;
  - за инжектиране посредством инжекционна сонда;
12. Преди започване на активното гасене всички възможни отвори да бъдат затворени;
13. Преди и по време на гасенето не се допуска образуване на прах или преминаването на отложения прах в аерозолно състояние поради опасност от прахова експлозия.
14. Контрол концентрацията на кислород над материала;
15. Източването на силоза или бункера само при условия, че контролираните параметри – температура на материала във всички измервателни точки е под 100 °C и съдържание на кислород над материала под 5%.

### **Раздел 9.3**

#### **ТЕХНОЛОГИЧНИ СХЕМИ ЗА ПРОФИЛАКТИКА И ГАСЕНЕ НА ЕНДОГЕННИ ПОЖАРИ ПРИ ДОБИВ НА ВЪГЛИЩА.**

Освен за гасене на пожари в бункери и складове гелът може да се използва и като профилактично и оперативно средство при ръчния или механизирания добив на въглища както и при профилактиката от ендегенната пожаропасност на целиците. За гасене на пожари в обрушеното пространство освен чрез инжектиране абсорбера може да се прилага и чрез оставяне на полиетиленови чували със сух абсорбер зад забойната линия свързани с водопровод. Пускането на вода в чувалите води до набъбване на гела разкъсване на чувалите и създаване на изолираща среда, в която не може да възникне процес на нискотемпературно окисление.

Управлението на риска от самозапалване в складове и бункери е насочено към прилагане на различни по вид и същност мероприятия за премахване или ограничаване на условията, създаващи предпоставки за възникване на процес на

самонагриване и самозапалване. Предложената нова субстанция като профилактично средство или като гасителен агент на активни пожарни огнища ще позволи да се въздейства активно върху факторите, създаващи предпоставки за протичане на процес на нискотемпературно окисление или горене. Освен това той успешно може да се използва и за гасене на ендегенни пожари при подземния добив на въглища. Инжектирането му в обрушеното пространство води до намаляване проницаемостта на средата в резултат на което ще намалява проникването на въздух пряко свързано с процеса на окисление на въглищата. От друга страна периодичната обработка на инжектирания гел с вода създава изолираща полоса зад забоя, която освен изолиращ ще има и охлаждащ ефект на самонагрелия се материал. Всичко това води до намаляване на разходите за инжектиране на азот и други пожарогасящи състави.

## ГЛАВА ДЕСЕТА

### УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ ЕКСПЛОЗИИ

Друг основен проблем пряко, свързан с технологиите за добив, преработка, транспорт и съхранението на различни суровини и материали, е рискът от възникване на прахови експлозии. Количествата прах, които се отделят при различните процеси могат да доведат до възникване на такива експлозии в складове, бункери, мелници, подземни минни изработки и др. Условието за възникване и разпространение на такава авария имат комплексен характер. Праховите експлозии зависят както от факторите на средата (концентрация на праха, източник на запалване, наличие на достатъчно количество кислород и др.), така и от взривоопасните характеристики на горимите прахове. Важно значение има и източника на запалване. В много от случаите тези експлозии се инициират от източник на възпламеняване – огнище на самозапалване на праха. Самозапалването е един от основните проблеми, свързани със складирането на въглища, които са природно предразположени към самозапалване.

Профилактиката на праховите експлозии изисква елиминиране или поне минимизиране на появата на някое от условията, за възникване на експлозия. Познаването на взриво и пожаротеническите характеристики на различни по състав прахови смеси ни дава възможност за разпознаване (идентифициране) появата и нарастването на опасността от експлозии в полуограниченото пространство при различни конструкции бункери, силози и др. От друга страна познаването на еволюцията на опасността от възпламеняване на праховъздушните смеси позволява вземането на адекватни на опасността инженерни решения за управления на риска в критични аварийни условия.

В този дисертационен труд са представени и определени някои от взриво и пожароопасните характеристики на праховете, а именно:

- Долната граница на възпламеняване на праховъздушните смеси;
- Минималната температура на екзотерично разлагане на прахови смеси;
- Минималната температура на тлеене на отложен прах.

Освен това се предлага нов показател за определяне склонността на праховете към самозапалване (SC), представен в глава 3.

Едно от най – високорисковите производства по отношение възпламеняването на прахове е производства на ел. енергия от въглища. Целият технологичен цикъл от доставката до изгарянето на въглищата е с висок рисков потенциал по отношение праховите експлозии. Поради тази причина са изследвани местата с най – голяма вероятност от възникване на такъв процес - приемните бункери и местата на товарене върху ГТЛ с питател.

За целта на изследването бе избран ТЕЦ Бобов дол поради факта, че за него се доставят въглища от различни басейни (Бобовдолски, Софийски, Пернишки, Ораново-Симитлийски и от Мина Катрище) с различни показатели. За определяне на прахообразуването при тези процеси се извършиха измервания, за определяне количеството прах отделен при разтоварването в зависимост от количествата въглища, подавани към бункерите на ТЕЦ.

Основния начин за доставка на въглищата до ТЕЦ Бобов дол е с железопътен транспорт. Вагоните изсипват суровината в приемни бункери, разположени от двете страни на железопътната линия. Средно за денонощие се разтоварват 110 вагона с 51 до 57 t въглища. Максималното денонощно натоварване на бункерите достига 130 вагона за 24 часа при среден товар от 54 t/вагон. Денонощно в бункерите постъпват въглища:

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

Образуването на прах е свързано с два източника. Първият е при разтоварване на бункера а вторият - при натоварване на въглищата на гумено – транспортна лента с перков питател. При разтоварването на въглищата в бункера прахът се издухва към близката стена на галерията. Поради отсъствието на организирано проветряване облакът се разширява успоредно на оста на галерията, като едрият прах се отлага, а финият витае под действие на слабите конвективни потоци от вътрешни източници и от движението на транспортната лента.

При натоварването на въглищата върху транспортъора, движението на перковия питател под действие на буталния ефект формира въздушен поток. Под неговото действие и дифузионното разсейване се наблюдава непрекъснато нарастване на праховия облак пред питателя. Това изпреварващо движение на праха продължава докато се запълни дължината на цялата галерия в половината от сечението, в което работи питателя. Прахът се разпространява и утаява по дължината на галерията. Получените резултати от изследванията са показани в табл. 10.1 и табл.10.2. На фиг. 10.1 е показано разпределението на праха по цялата площ на галерията.

Таблица 10.1

| Разтовар. вагони<br>[броя/ден] | Разтовар.въглище<br>[тона/ден] | Работа на<br>питателите,<br>[часа/ден] | Отложен прах в<br>галерията<br>[kg/денонощие] |                         |
|--------------------------------|--------------------------------|--|---|-------------------------|
|                                |                                |  | измерен                                       | прогноза                |
| 46                             | 2500                           | 6                                      | -   | 21,7-21,2               |
| <b>51,5</b>                    | <b>2772</b>                    | <b>6,6</b>                             | <b>33,32</b>                                  | 33,4                    |
| <b>63</b>                      | <b>3403</b>                    | <b>10,042</b>                          | <b>59,61</b>                                  | 59,6                    |
| <b>67</b>                      | <b>3618</b>                    | <b>9,142</b>                           | <b>70,33</b>                                  | 70,4                    |
| 83                             | 4500                           | 11,00                                  | -   | <b>108,3-<br/>109,6</b> |
| 93                             | 5000                           | 13,00                                  | -   | <b>127,7-<br/>131,0</b> |

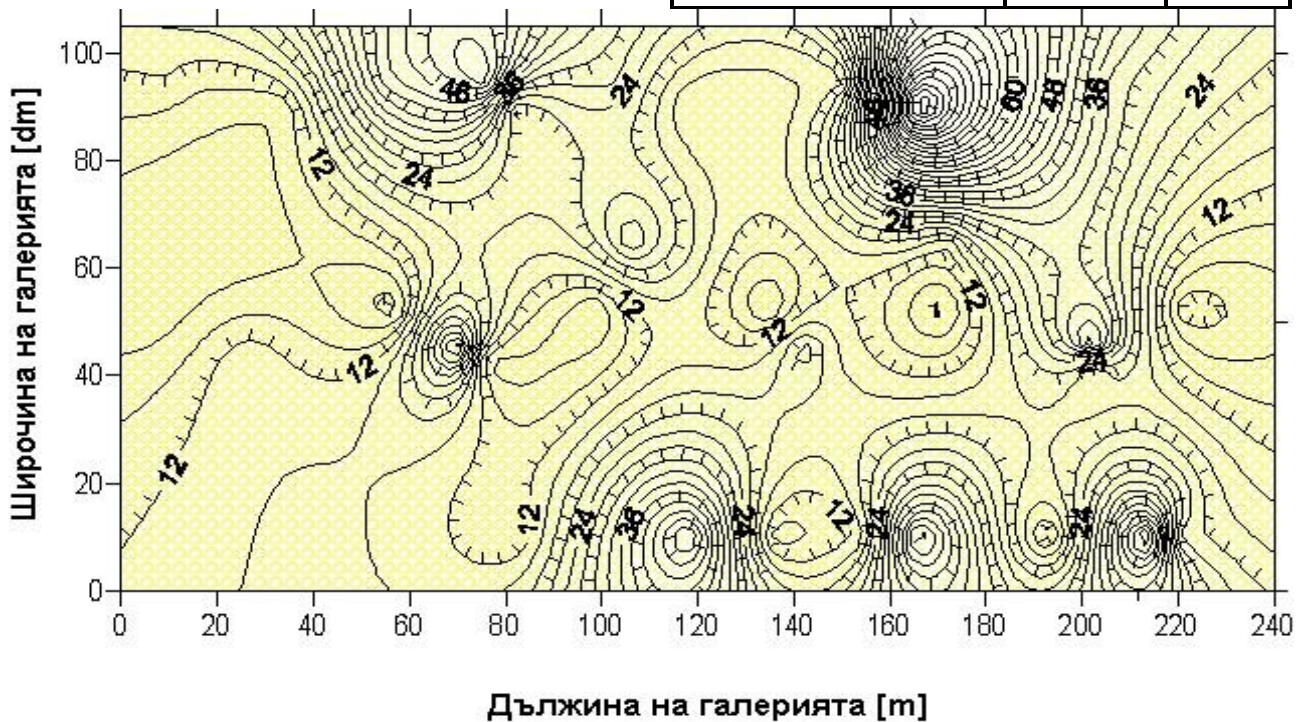
Таблица 10.2

| Период за измерване                                   | 30.07.04 - 06.08.04<br>(216 часа) |               |
|---|-----------------------------------|---------------|
| Обработени вагони за<br>периода<br>(шест денонощия)   | броя                              | 425           |
| Разтоварени въглища<br>през периода                   | тона                              | 22<br>356     |
| Средно денонощно<br>натоварване на<br>приемни бункери | ваг./24 ч.<br>тона/24<br>ч.       | 70.8<br>3 726 |
| Средноденонощна<br>работа на лъв<br>питател ПП2А      | мин./24<br>ч.                     | 268           |
| Средноденонощна<br>работа на десен<br>питател ПП2Б    | мин./24<br>ч.                     | 256           |



|     |      |       |   |             |
|-----|------|-------|---|-------------|
| 100 | 5400 | 14,50 | - | 142,5-148,3 |
| 111 | 6000 | 16,00 | - | 167,5-174,8 |
| 130 | 7000 | 18,00 | - | 211,8-219,4 |

|                                      |                            |       |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|
| Отложен прах за 24 часа през периода | <i>kg/day</i>              | 54.42 |
| ⇒ средно за цялата площ              | <i>g/m<sup>2</sup>.day</i> | 22.22 |
| ⇒ максимално по площта на пода       | <i>g/m<sup>2</sup>.day</i> | 99.47 |
| ⇒ минимално по площта на пода        | <i>g/m<sup>2</sup>.day</i> | 0.56  |



Фигура 10.1

От приложените графики и данни в таблиците е видно изключително голямата неравномерност при денонощното отлагане на прах. 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. 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 табл. 10.1 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/dn при максимално разтоварване на 130 вагона.

Резултатите от техническия анализ на отложения, през периода на изследването са показани в табл. 10.3 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%. Зърнометричният състав на шест проби от отложения прах е представен в табл. 10.4.

Участието на фракцията под 50  $\mu\text{m}$  се колебае между 7.28 и 22.68%, а под 71  $\mu\text{m}$  достига 63%. За характеризирание на взривоопасните свойства на праха при шихтоване на въглищата с различна степен на метаморфизъм са необходими

продължителни и обемни изследвания по ISO стандарти, приети и за европейски (EN) норми. 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 два литров цилиндър са показани в табл. 10.5 Изпитванията са проведени с въглищен прах – фракция под 63  $\mu\text{m}$ .

Според изследванията **ДГВ на праха е определена на 120 g/m<sup>3</sup>**.

| Таблица 10.3        |                              |                                    |            | Таблица 10.4              |        |        |        |            |
|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------|---------------------------|--------|--------|--------|------------|
| Характеристика      | Средна стойност в периода, % | Диапазон на изменение в периода, % |            | ФРАКЦИЯ [ $\mu\text{m}$ ] |        |        |        | Разсейване |
|                     |                              | <i>min</i>                         | <i>max</i> | -50                       | +50-63 | +63-71 | +71    | %          |
| 1<br>ВЛ<br>АГА      | 11,61 $\pm$ 0,91             | 9,8                                | 12,3       | 22,68%                    | 25,30% | 14,80% | 36,28% | 0,96       |
|                     | 12,4 $\pm$ 0,62              | 10,2                               | 13,1       | 22,28%                    | 25,54% | 14,94% | 38,63  | 0,01       |
|                     | 13,5 $\pm$ 0,74              | 11,0                               | 13,9       | 11,70%                    | 15,60% | 6,22%  | 32,19% | 3,10       |
| ПЕПЕЛ               | 40,9 $\pm$ 5,05              | 33,7                               | 49,3       | 12,18%                    | 16,24% | 6,48%  | 64,94  | 0,16       |
|                     | 45,6 $\pm$ 3,42              | 35,8                               | 48,9       | 7,28%                     | 18,32% | 15,50% | 57,32  | 1,58       |
|                     | 42,1 $\pm$ 4,55              | 34,9                               | 47,8       | 7,40%                     | 18,61% | 15,74% | 58,23% | 0,02       |
| ЛЕТЛИВИ<br>ВЕЩЕСТВА | 65,6 $\pm$ 5,04              | 53,76                              | 72,28      |                           |        |        |        |            |
|                     | 62,36 $\pm$ 5,52             | 54,16                              | 72,48      |                           |        |        |        |            |
|                     | 63,73 $\pm$ 4,83             | 55,22                              | 70,95      |                           |        |        |        |            |

Концентрацията на общ прах във въздуха непосредствено до транспортъора и в зоната над питателя превишават дадените в табл. 10.6 от 2 до 8 - 10 пъти. Очевидна е необходимостта да се търсят възможности за намаляване на прахообразуването при натоварване върху лентата или към улавяне на праха при източника.

Таблица 10.5

| Номер на опита | Концентрация C [g/m <sup>3</sup> ] | Налягане P <sub>max</sub> [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                                | <b>35</b>                       | 1.1         | <b>31.8</b>   | <b>пламък</b>       |
| 5              | 107.5                              | <b>38</b>                       | 0.9         | <b>42.2</b>   | <b>пламък</b>       |
| 6              | 110                                | <b>41</b>                       | 0.9         | <b>45.6</b>   | <b>пламък</b>       |
| 7              | 112.5                              | <b>42</b>                       | 0.8         | <b>52.5</b>   | <b>пламък</b>       |
| 12             | 115                                | <b>44</b>                       | 0.5         | <b>88.0</b>   | <b>силен пламък</b> |
| 11             | 117.5                              | <b>85</b>                       | 0.5         | <b>170.0</b>  | <b>силен пламък</b> |
| 10             | 120                                | <b>87</b>                       | 0.2         | <b>435.0</b>  | <b>ЕКСПЛОЗИЯ</b>    |
| 13             | 120                                | <b>87</b>                       | 0.2         | <b>435.0</b>  | <b>ЕКСПЛОЗИЯ</b>    |
| 9              | 122.5                              | <b>88</b>                       | 0.2         | <b>440.0</b>  | <b>ЕКСПЛОЗИЯ</b>    |
| 8              | 125                                | <b>92</b>                       | 0.15        | <b>613.3</b>  | <b>ЕКСПЛОЗИЯ</b>    |

От изследванията за определяне на количествата прах образувани при процесите на пълнене на приемните бункери с въглищата както и източване и

товаренето им върху ГТЛ и направените анализи може да се обобщи, че се идентифицират и двете опасности на въглищния прах:

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

Анализираната технология за товаро-разтоварни работи е валидна за по – голямата част от ТЕЦ–овете в страната и това предопределя и повишения производствен риск от възникване на прахови експлозии в тях.

Основно управлението на риска от експлозии е свързано с недопускане създаване на условия за възникване на самозапалвания и експлозии. Първоначално се започва с характеризирание на разпределението на източника или източниците на витаещ и отложен прах във времето и пространството. След това е изследването на взриво и пожароопасните характеристики на праховете.

В изследователската практика няма установени зависимости за влиянието на техническите характеристики на въглища с различен състав и степен на метаморфизъм върху пожарните и експлозивите характеристики. Резултатите получени от тези изследвания ни дават възможност да се предлагат рационален комплекс от технически решения за управление на експлозивната и хигиенна праховата опасности.

Избраните мероприятия основно са насочени към намаляване и ограничаване на прахоотделянето и прахоотлагането при източника и в близост до него. Това от своя страна може да бъде свързано с използване на различни вещества и намаляващи прахоотделянето състави. Едно такова решение може да бъде с използването на хидрогел. Обработването на въглищен прах с предлагания агент води до получаване на суспензия, при която прашинките полепват върху гела като по този начин се предотвратява преминаването им в аерозолно състояние при динамичен ефект.

Използването на хидрогел като противопожарно средство ще позволи прилагане на една нова технология за въздействие върху загряти зони и пожари с воден гел, съдържащ повече от 99.5% вода в свързано състояние. Освен това за намаляване на отделения прах могат да се използват т.нар. водни завеси. Те могат да работят с финно диспергирана вода и гел с най – малкия размер SZ. Предимството на използването на гела като омекряща субстанция е, че при висока температура водата се изпарява бавно и не позволява на финните частици от сместта да преминат от аерогел в аерозол. Това от своя страна рязко намалява риска от експлозии. Важно мероприятие за намаляване на вероятността от експлозии е събирането на отложения прах или обработването му с антипирогени непозволяващи възпламеняването им.

Друго важно технологично решение е използването на различни гелообразуващи състави за намаляване вероятността от възникване на процеси на самозапалване в бункери и силози, водещи до възникване на експлозии.

Прилагането на различни профилактични мероприятия както и технологии за гасене на пожарни огнища с полимени хидрогелове дава една нова възможност за адекватно управление на риска от самозапалване и експлозии.

## ГЛАВА ЕДИНАДЕСЕТА

### ИКОНОМИЧЕСКА ОЦЕНКА НА ПРОФИЛАКТИКАТА И ГАСЕНЕТО НА ПОЖАРИ С ХИДРОГЕЛ

Проведените изследвания и полупромишлени експерименти доказаха ефективността на предлаганата нова технология за профилактика и гасене на ендогенни пожари. За приложимостта ѝ в практиката обаче важно значение има и нейната икономическа ефективност. Тя се определя от цената на изходния материал, машините, съоразженията и средствата за прилагането ѝ. Цената на абсорбера основно се определя от вида и количеството на веществото, което е необходимо да бъде закупено. На пазара понастоящем се предлагат три вида абсорбер – натриев (**Na**), калиев (**K**) и поликриламид. Количествата (опаковките) на абсорбера предлагани от различните фирми варират в широки граници от 0.5 до 500 kg. Немалко значение за използването на предлагания агент имат и транспортните разходи за доставката. В зависимост от характеристиките на веществото и условията му на приложение най – подходящ за нас е натриевия абсорбер (**Na**) със среден размер (MZ) на зърната.

След направеното проучване на фирмите, предлагащи абсорбер най – изгодни са условията на фирма **POLIMERS Inc.**

#### 1. POLIMERS Inc.

Таблица 11.1

| lb        | kg       | ship | price  | SUM    | \$per kg | BGN pkg  |
|-----------|----------|------|--------|--------|----------|----------|
| <b>Na</b> |          |      |        |        |          |          |
| lb        | kg       | ship | price  | SUM    | \$per kg | BGN pkg  |
| 2         | 0.907185 | 5.8  | 19.95  | 25.75  | 28.38451 | 41.15755 |
| 4         | 1.814369 | 8    | 34.95  | 42.95  | 23.67214 | 34.32461 |
| 10        | 4.535924 | 12   | 69.95  | 81.95  | 18.06688 | 26.19698 |
| 55        | 24.94758 | 22.5 | 229.95 | 252.45 | 10.11922 | 14.67287 |

1. При използване на абсорбера като бариерно средство цената на технологията се определя от цената на гасящия агент и цената на полиетилен за изработване на възглавниците и ръкавите. Количеството на агента се определя в зависимост от големината на горящото петно по повърхността на склада или бункера и дебелината на слоя, необходим за третиране на огнището (табл.11.2)

Таблица 11.2

| Дебелина на слоя гел – [mm]    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90    | 100  |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Цена [ лева / m <sup>2</sup> ] | 0.57 | 1.14 | 1.71 | 2.28 | 2.85 | 3.42 | 3.99 | 4.56 | 5.138 | 5.70 |

При размер на възглавниците 0.23/0.50 m използвани при експеримента описан в глава 8 се получава:

$$0.23 * 0.5 = 0.115 m^2 \text{ гасителна площ на една възглавница; или}$$

$$3 * 0.115 = 0.35 m^2 \text{ гасителна площ на трите възглавници;}$$

При дебелина на слоя 0.05 m (табл. 11.2)

$$0.35 m^2 * 2.88 \text{ лв} / m^2 = 1 \text{ лв за } 0.35 m^2 \text{ обработваема площ или преизчислено за } 1 m^2 \text{ цената възлиза на } 2.85 \text{ лв} / m^2 .$$

Използваният при полупромишлен експеримент (глава 8) полиетилен (HDPE) с дебелина 50 μm и плътност  $\rho = 0.95 \text{ g/sm}^3$  доказва своята ефективност в условията на експлозтация. Неговата цена е 1.75 лв/m<sup>2</sup>. Цената на една възглавница при размер 0.23 /0.5 m възлиза на :

$$0.23 * 0.5 = 0.115 m^2 * 1.75 \text{ лв} / m^2 = 0.2 \text{ лв} / \text{бр} , \text{ или за три броя } 0.6 \text{ лв}.$$

Общата цена на материалните разходи за конкретния случай възлизат  $2.85 \text{ лв} + 0.6 \text{ лв} = 3.45 \text{ лв}$ . По този начин може да се направи предварителна икономическа оценка в зависимост от големината на горящото петно и дебелината на слоя, необходим за обработка на огнището.

2. При използване на абсорбера за профилактика на ендогенната пожароопасност цената се определя от цената на материала и цената на помпата за третиране на сухия абсорбер с вода. Цената на използвания абсорбер отново се определя от цената на дебелината на слоя, необходим за покриване на  $1 m^2$  (табл. 11.4) от откритата повърхност на склада или бункера свързано с количеството на изходния продукт. Цените са изчислени на база цена на килограм абсорбер, показани в таблица 11.1. От своя страна цените на помпите се определят от вида, дебита и напора, който тя трябва да преодолява. В зависимост от типа на помпата се избира шланга за подаване на вода към обработваемата площ. Цените на шланговете се определят от техния диаметър, експлоатационното им налягане и материала, от който са изработени. Съобразно избрания шланг и помпа се избира и струйникът за вода.

3. При използване на хидрополимера като готова консистенция за профилактична обработка или активно гасене на пожари цената на технологията отново се определя от дебелината на слоя гел, необходим за третиране на огнището (табл.11.4) и вида на средствата за обработка му. За третиране на сравнително малки участъци по повърхността на складове или бункери може да се използва преносим смесител (фиг.11.1) за подаване на гел. Той се състои от пластмасов резервоар с вместимост 5 kg и струйник с два входа -единия за водата, която се подава към него посредством шланг, а втория - за абсорбера от резервоара. Водата и агентът се смесват в дюзата на струйника. Цената на този стандартен смесител е 416 лв.



Фигура 11.1



Фигура 11.2

За по големи количества гел могат да се използват различни модификации на системата. Една от тях е чрез използване на по - голям контейнер за абсорбера - 20 литра. (фиг. 11.2) като по този начин могат да се обработват и по - големи площи. За профилактична и оперативна обработка на големи площи се използват стационарни системи, разположени в близост до обработваемите места. След направеното предварително проучване за възможността на различни предприятия (ТЕЦ , минни предприятия и др.) за прилагане на новата технология се оказва, че техническото и материалното им състояние позволява изработване на такова съоръжение с минимални средства. Основният разход ще бъде за закупуване и доставка на

абсорбер, помпа и струйник (ако няма налични в съответното дружество или фирма). Могат да се използват различни типове помпи (центробежни, обемни и перисталтически) в зависимост от мястото и технологията на обработка на пожарните огнища. Цените на центробежните помпи варират от 200 до 1000 лв., на обемните от 700 до 8500 лв., а на перисталтическа от 7000 до 11000 лв.. При провеждане на полупромишления експеримент бе използвана обемна помпа, чийто дебит се регулираше от оборотите на помпата. Уникалното на тази помпа, е че при сравнително малки размери за кратко време може да подаде голямо количество гел. Цената на тази помпа е 10 лв, което е едно доста добро решение при третиране на малки до средни огнища.

4. При използване на гела за обработка на ендогенни пожарни огнища икономическата оценка се определя по следния начин.

На първо място се определя дълбочината на нагрятата зона (описана в глава 7) в склада или бункера, което е в пряка зависимост с количеството използван гел и начина му на подаване в огнището. На основание получения резултат се определя обемът, който трябва да бъде обработен с гел. Важно значение за количеството на използвания гел има и пористостта на средата. По получените данни се определя общото количество на гела, необходим за обработване на огнището.

Следващият етап е определяне начина на инжектиране на гела в пожарното огнище. Той включва избор на помпа, шланг и сонда за подаване на агента. При избора на помпа и шланг се взема предвид съпротивлението, което средата оказва при обработване на огнището. По този начин по предварителна оценка могат да се предвидят съответните разходи за машини и материали, необходими за прилагане на тази технология.

Икономическата оценка на разичните варианти за профилактика и гасене на ендогенни пожари е важна по отношение на планираните средства за реализацията им. Но тази оценка може да има и субективен характер. Това е така поради факта, че много от предприятията (ТЕЦ, подземни минни предприятия и др) имат изградени водопроводни мрежи, резервоари за вода и др. Освен това наличието на действащи средства и системи за гасене на пожари (помпи, шлангове, струйници и др.) ще опрости предварителната оценка на разходите за прилагане на дадената технология. Важно значение има и това, че на територията на много от предприятията функционират съответните звена, цехове или работилници, свързани с ремонта и поддръжката на системите и съоразженията в даденото предприятие. В тази връзка много от ръководителите на тези предприятия биха предпочели на съответните елементи от дадената система (клапани, връзки на тръбопроводи, резервоари, сонди за подаване на гел и др.) да се изработват от тях. Това ще доведе до значително намаляване на разходите за прилагане на избраната система. От всичко това става ясно, че постоянен може бъде само разходът за противопожарния агент, като всички останали се определят на основание наличните средства, системи и машини. Предимствата на новата технология се изразява в това, че инвестицията за закупуване на агента е еднократна. Последващото поддържане на функционалността му се извършва единствено чрез обработването му с вода, което не е валидно за другите противопожарни вещества. Освен това новият агент съчетава две от най – важните гасящи ефекта – охлаждащ и изолиращ. Всичко това позволява ефективно използване на суперабсорбера за гасене на ендогенни пожари.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от извършената изследователска работа дават основание за резюмиране на следните изводи за постигнатото:

1. Направен е анализ на състоянието на проблема.
2. Изследвани са някои от взриво и пожароопасните характеристики на различни видове горим прах.
3. Предложена е методика за разделяне на развитието на процеса на самонагриване до samozапалване на отделни стадии.
4. На основание извършените експерименти е предложен нов показател за оценка на риска от запалване и експлозии.
5. Изследвано е влиянието на факторите на околната среда (скорост и налягане на вятъра) върху граничните условия за възникване на процес на самонагриване при различни височини на складове и ъгли на наклони чрез физическо моделиране.
6. Предложени са програми за математическо моделиране на процесите на самонагриване и samozапалване в складове и бункери.
7. Извършена е верификация на получените от двата вида моделиране резултати и е определен приложимостта на компютърното моделиране при оценката на риска от samozапалване.
8. Предложен и изследван е нов агент за намаляване на риска от ендеогенни пожари.
9. В лабораторни условия е доказана техническата целесъобразност за въвеждане в профилактиката и борбата със samozапалвания на въглища.
10. Установена е динамиката хидратацията на хидрогелове с вода и са изведени корелационни зависимости за тях.
11. Проведени са руднични изследвания на дехидратацията и регенерацията на хидрогел във въглищна среда.
12. Проведени са лабораторни изследвания за определяне пористостта на средата за определяне дебелината на слоя гел.
13. Предложени са технологични схеми за профилактика и гасене на ендеогенни пожари в складове, бункери, насипища и при подземния добив на въглища за прилагане на хидрогел при гасене на пожари.
14. Направена е икономическа оценка при прилагане на новата технология.

Получените резултати от експерименталните изследвания в лабораторни и руднични условия позволяват извършването на необходимите инженерни решения за хидратацията, транспортирането и инжектирането на гела и на теоретични прогнози за неговото разпространение. Това се отнася и за едни от основните режимни параметри на новата технология – честотата и режима на регенерацията на хидрогела в пореста среда или на нейната повърхност.

Създаването на методики за анализ на условията и причините за възникване на процеси на самонагриване и samozапалване и програми за прогнозиране вероятността за възникването им се базира на огромен обем, информация свързана с анализ на причините, условията и връзката между тях, водещи до възникване на samozапалване. Използването на математически модели позволяват бързото и

точно изясняване на влиянието на различните фактори върху процеса на самозагриване. Не по – малко важно обаче е физическото моделиране. Получените резултати от него моделиране ще дадат възможност за извеждане на зависимости, които ще подпомогнат изучаването на развитието на разглежданите процеси. Важен е и техническият анализ на суровината. Съгласно него се прави предварителна оценка на склонността на материала към самозапалване. Разбира се важно значение имат и лабораторните изпитвания за определяне на различните пожаро и взривни характеристики, на основание на които се определят същинската склонност към самозапалване и приблизителното време за възникване на този процес. Цялата информация дава възможност за избор на адекватни профилактични мерки и средства, съобразени с конкретните условия на добив, съхранение и транспортиране на суровината. При третиране на вече възникнал пожар получената информация дава възможност за избор на различни инженерни решения за подбор на средства и начини за гасенето му.

В заключение управлението на риска от ендогенни пожари не е еднократно действие. Това процес, включващ последователност от действия, свързани с диагностиране, премахване или намаляване на вероятността за създаване на условия, в резултат на които възниква процес на горене или минимизиране на загубите и изключване на опасността от прахови експлозии в складове и бункери.

## **ОСНОВНИ НАУЧНИ И НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ**

На основание проведените лабораторни и стендови изследвания и експерименти могат да се формулират следните основни научни и научно – приложни приноси.

### **I. Научни приноси:**

1. Определени са реперни температури разделящи развитието на процеса на самозагриване до самозапалване на отделни стадии, като са дефинирани границите на съответните стадии.

2. Предложен и приложен е нов комплексен показател - **SC (spontaneous combustion)**, с който се определят и оценяват опасностите при управление на риска от ендогенни пожари в насипища, складове и бункери. Показателят **SC** представлява съвкупност от различни характеристики свързани с температурата на тлеене, критична температура на самозапалване, средна скорост на нарастването на температурата и интензивността на генериране на топлина от окислението.

### **II. Научно – приложни приноси:**

1. Предложен е нов агент (хидрогел) за профилактика и гасене на пожарни огнища в насипища, складове и бункери, като са изследвани следните характеристики на гела - хидроабсорбционни свойства, обемно разширение, динамика на хидратация и дехидратация и съвместимост с различни антипирени и пулпове.

2. Изследван е разхода на хидрогел за профилактика и активно гасене на пожари в зависимост от пористостта на средата, височината и ъгъла на наклона на склада и аеродинамичните условия около обекта.

Дефинираните и използвани показатели позволяват управление на риска от ендогенни пожари в складове и бункери чрез ефективна идентификация и оценка на опасностите и предвиждане на адекватни по тежест технологични и технически решения