

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

маг. инж. Захари Иванов Динчев

**ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ НЕТРАДИЦИОННИ
МЕТОДИ И КОНСТРУКЦИИ ЗА ПРОВЕТРЯВАНЕ
НА МИННИ И ИНДУСТРИАЛНИ ОБЕКТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на Дисертация

ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН

„ДОКТОР“

научна специалност “МИННА АЕРОЛОГИЯ”

Научен ръководител:

проф. д-р Михаил Михайлов

Научен консултант:

доц. д-р Елена Власева

СОФИЯ

2013

Защитата на дисертацията ще се състои на 24.01.2014 година (петък) от 14.00 часа в зала 621 на Лабораторен блок №4 на МГУ „Св. Иван Рилски“, ет. II, на открито заседание на Научното жури съгласно ЗРАСРБ, определено със Заповед № Р- 1450 от 4.12.2013 г. на РЕКТОРА на МГУ „Св. Иван Рилски“.

Научно жури:

1. Проф. дтн. Иван Славейков Антонов - рецензент
2. Проф. д-р Милчо Стоянов Ангелов - рецензент
3. Проф. д-р Михаил Атанасов Михайлов
4. Доц. д-р Елена Димитрова Власева
5. Доц. д-р Димитър Георгиев Александров

Дисертационният труд, авторефератът, рецензиите и становищата на членовете на научното журито се намират в отдел „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“ в сградата на Ректората, III етаж стая 79.

Авторът на научния труд работи в катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“ към МГУ „Св. Иван Рилски“, гр. София, като главен асистент и е отчислен с право на защита като задочен докторант по научна специалност „МИННА АЕРОЛОГИЯ“. Изследванията и разработките по дисертационния труд са извършени в същата катедра.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Руднична вентилация и техническа безопасност“, назначен със Заповед № Р-1299 от 29.10.2013 год. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“, проведен на 15.11.2013 год.

Автор: *Захари Иванов Динчев*

Заглавие: *ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ НЕТРАДИЦИОННИ МЕТОДИ И КОНСТРУКЦИИ ЗА ПРОВЕТРЯВАНЕ НА МИННИ И ИНДУСТРИАЛНИ ОБЕКТИ*

Тираж: *25 броя*

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Използването на силата на вятър има дълга история. Тя започва от навигацията на плователни съдове с платна по река Нил около 5000 г.пр.н.е., свързана е с използването на ветроходи за придвижване от бряг на бряг. Използването на вятъра за производство на електроенергия започва през 30 години на 20 век, като към края на века тази дейност се разраства към създаване на вятърни стопанства и в много страни заема съществен дял от произвежданата електроенергия. Едно малко разпространено приложение на вятърната енергия е използването на вятърни турбини вентилатори, без двигатели [64] за проветряване на жилищни и обществени сгради. Пионери на тези приложения и водещи производители на ветровентилатори са Австралия, Нова Зеландия и САЩ. В тези страни действат поощряващи използването на възстановими източници на енергия наредби, свързани с ограничаване на вредните емисии.

Въпреки, че с ветровентилаторите не се произвежда електроенергия, чрез прилагането им за проветряване на различни обекти се пести електроенергия, поради не използване на електрическа енергия. Използването на ветровентилатори обаче изисква допълнителни изследвания в няколко посоки, които са залегнали в този труд, а именно :

- Влияещи фактори върху работата на ветровентилаторите (ветрова и топлинна тяга, метеорологични условия);
- Изучаване принципа им на действие и взаимодействието с проветряваната среда;
- Анализ на аеродинамичните характеристики на ветровентилаторите и определяне на зоните на приложение;
- Създаване на метод за проектиране на вентилационни системи с ветровентилатори;
- Изследване на възможности за разширяване на приложенията им в ограничено пространство (подземни обекти) или в специални съоръжения (складове за взривни материали със специален режим на проветряване, чисти помещения, обекти с ограничен достъп);
- Разширяване на възможностите за проветряване при отсъствие на вятър или при необходимост от усилена вентилация чрез изграждане на хибридни схеми (ветровентилатор-механична тяга).

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се изследват възможностите за проветряване на индустриални обекти, включително подземни минни и граждански обекти с ветровентилатори

За постигането на целта се формулират и се търси решението на следните задачи в дисертационния труд:

1. Да се проучи опита при проветряване на обекти с естествена тяга, ветровентилатори и комбинирани схеми за вентилация. Да се изясни

взаимодействието на вентилационните потоци с обектите на проветряване и вентилационните съоръжения

2. Да се оцени потенциала на енергията на вятъра и използването и за проветряване при взаимодействие с теченията в обекта (газова и топлинна тяга)
3. Да се набележат потенциално възможни обекти и схеми за проветряване или интензифициране на естественото проветряване
4. Да се оценят ветровите ресурси и анализира начина на събиране и статистическата обработка на резултатите от метеорологични наблюдения за проветряване с ветровентилатори
5. Да се анализират конструктивните особености на ветровентилаторите, да се оценят фабричните им показатели и да се допълнят с данни от стендови изпитвания и натурни експерименти
6. Да се състави метод за избор и проектиране на вентилационни схеми с ветровентилатори
7. Да се предложат перспективни схеми за проветряване на подземни обекти и съоръжения с ветровентилатори, да се реализират в реални условия и проведат натурни измервания и изследвания
8. Да се разработят и реализират схеми за приложения на ветровентилаторите, вкл. „хибридна“ схема с използване на електрическа, ветрова и топлинна тяга.

Апробация на резултатите от дисертацията

Резултати и части от дисертационния труд са докладвани и представени на следните научни форуми:

- Международна научна сесия на Минно-Геоложкия Университет "Св. Иван Рилски", София, 2005г.,
- Национална научно-техническа конференция "Съвременни технологии и практики при подземно разработване на полезните изкопаеми", 26 – 29 май 2008 г., Девин.
- Втора национална научно-техническа конференция "Технологии и практики при подземен добив и минно строителство", 07 – 10 ноември 2010 г., Девин.
- Списание. „Минно дело и геология“ бр.1-2/ ,2013г

Обем и съдържание на дисертационния труд

Дисертационния труд е изложен в 6 глави. Основният текст е в обем от 168 страници

- 122 фигури;
- 44 таблици;
- 132 библиографски източници;

II. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

(Всички цитирани графики, фигури, формули и таблици са с номерацията от дисертационния труд)

1 СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА В СЪВРЕМЕННАТА НАУКА И ПРАКТИКА

1.1 Енергия на вятъра и на вентилационните потоци

Описани са и са уточнени основните зависимости за енергията и плътността на мощността на ветровите потоци, които зависят както от скоростта на вятъра съответно на втора и трета степен, така и от плътността на въздуха. Дадени са зависимостите за изменението на скоростта на вятъра в височина в зависимост от типа на терена. Направен е анализ и преглед на ветровите ресурси и циркулацията на атмосферата в приземния граничен слой. Разгледани са основните зависимости за движението на въздушните потоци в подземни минни изработки, като на базата на нормативните изисквания за стойностите на параметрите на вентилационните потоци са оценени възможностите по отношение на енергията и плътността на мощността на тези потоци. Направен е преглед на схемите за проветряване и дегазиране на глухи минни изработки (проветряване по дифузия нагнетателна, смукателна и комбинирани схеми на проветряване), като са уточнени и нормативните изисквания по отношение на тях.

1.2 Естествена вентилация на обекти

Вентилацията на обекти, в които работят, пребивават хора и/или се извършват технологични дейности, има за цел да поддържа оптимална въздушна среда. Правилното проветряване на един обект изисква подаване, отвеждане, преместване или циркулация на определени обеми въздух в границите на помещението така, че температурата, влажността и чистотата на въздуха да се поддържат в определени граници, които са необходими за нормалното протичане на процесите и работата в даденото помещение.

В тази част са разгледани основните схеми и методи за проветряване на даден обект като:

- ⇒ естествено подаване и отвеждане на въздуха;
- ⇒ естествено подаване и механично отвеждане на въздуха;
- ⇒ механично подаване и естествено отвеждане;
- ⇒ механично подаване и механично отвеждане.

Направен е преглед и анализ и са дадени основните зависимости за за проветряването на обекти с естествена вентилация , като е акцентирано на следните схеми:

- Проветряване с ветрова тяга – обтичане
- Проветряване с топлинна тяга. Коминен ефект
- Комбинирано действие на топлинна и ветрова тяга

Уточнени са зависимостите за разпределението на наляганията в и извън вентилираните помещения, както и за дебитите на въздушните потоци в зависимост от тези налягания при посочените по горе схеми..

1.3 Метеорологични условия и налични данни за използването на естествена вентилация в България

Предимствата на вятъра като енергиен носител (за добив на електрическа енергия или за използване при проветряване с ветровентилатори) се оценяват въз основа на ветровия ресурс, с който проектния обект разполага. Обикновено той се оценява на основата на изследвания с продължителност повече от 1 година.

Разгледани са начините за събиране и обработка на данни от метеорологични наблюдения у нас, както и основните източници за извличане на метеорологични данни необходими за проектирането на естествена вентилация. Анализирани са и са посочени данните които формират базата данни на НИМХ при БАН, който разполага с над 119 метеорологични станции с метеорологична информация, както и тяхната достъпност.

През последните години се забелязва набиране на метеорологична информация от различни източници, които формират собствени бази данни, като са посочени някои от тях, като данни от спътникови наблюдения, летища и различни други граждански обекти.

Направен е преглед на систематизирането на данните от метеорологичните наблюдения у нас, както и са посочени различните таблични данни, които се използват при проектирането на вентилационни системи.

1.4 Апарати, машини и съоръжения при естествената вентилация

Съоръженията които се използват при естествената вентилация могат да бъдат обособени в следните групи [31]:

- ⇒ вентилационни решетки, жалузи и отвори;
- ⇒ самонасочващи се вентилационни устройства;
- ⇒ дефлектори и стационарни покривни аератори;
- ⇒ въртящи се турбинни ветровентилатори.

Разгледани са четирите групи съоръжения с техните особености и характеристики, като и са показани начините за изчисляване на естествената вентилация с някои от тях. Акцентирано е върху групата на въртящите се турбинни ветровентилатори, като са показани основните елементи, конструкции и производители на ветровентилаторите. Посочени са различни начини на приложение на ветровентилаторите при естественото проветряване, както и са анализирани основните причини за избягването на този вид съоръжения при проектирането на естествена вентилация на сгради и помещения.

Дадени са някои от основните предимства на ветровентилаторите, както и къде могат да бъдат най-добре приложени при естественото проветряване.

1.5 Потенциални обекти за форсиране на естественото проветряване

В тази част е направен преглед на съществуващите схеми на приложение на ветровентилаторите, като са набелязани и потенциални обекти на приложение, както

- ⇒ Складове за взривни материали – не се допуска работа на електрически съоръжения;
- ⇒ Чисти помещения – непрекъснато проветряване с малки дебити;

- ⇒ Складове за хранителни или други продукти изискващи специални микроклиматични условия;
 - ⇒ Помещения с ограничен достъп (трезори, ценни предмети).
- Посочени са възможни за приложения на ветровентилаторите към специални обекти, свързани с минното дело и съпътстващи дейности, а именно:
- ⇒ Подземни складове (за боеприпаси, за взривни вещества, складове за съхранение на материали които отделят вредни вещества);
 - ⇒ Подлези, тунели (железопътни и авто тунели), метрополитени;
 - ⇒ Комуникационни тунели (кабелни, колектори, канализация)
 - ⇒ Подземни бункерни стопанства, корабни трюмове и др.

ИЗВОДИ КЪМ ЧАСТ 1

При прегледа и анализа на информацията в част1 са направени следните изводи:

- Мощността на ветровото течение зависи от третата степен на скоростта;
- Ветровите условия се променят във височина;
- Важна характеристика на вятърното течение е плътността на въздуха;
- Конкретните географски и други условия (като застрояване и релеф) влияят съществено на ветровия потенциал;
- Налични метеорологични данни от различни източници са полезни за оценяване ветровия потенциал на обследваното място;
- Метеорологичните данни следва да се допълнят със собствени измервания на място, за да се отчетат конкретните условия на заобикалящата среда;
- Следва да се търси корелационна връзка между налични данни (от справочници, сайтове и др.) със собствени измервания на място;
- От обобщените метеорологични данни не е възможно да се намери плътността на въздуха, както и да се получи специфична информация за разпределението във времето на различни величини

Естествената вентилация е трудно управляем процес поради:

- Непостоянност на теченията във вентилационния обект в резултат от двата взаимно влияещи си процеса – ветрова и топлинна тяга;
- Дневни и сезонни различия в слънчевото греење и различно ниво на слънчева радиация на отделните части на обекта, особено на тези, участващи при формирането на потоците;
- Трудно осъществим автоматичен контрол на постъпването и отвеждането на вентилационните потоци;
- Сложния анализ на източниците на топлина и други процеси, довеждащи до разлика в плътностите и влиянието им върху коминния ефект (топлинната тяга);
- Необходимост от анализ на ветровото натоварване на конкретното местоположение на обекта – преобладаващи ветрове с големини и посоки;

Усилване влиянието на ветровата тяга може да бъде постигнато чрез добавяне на допълнителна мощност

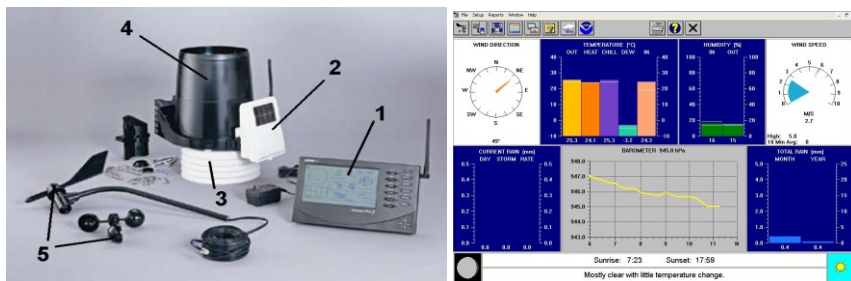
Проектирането и изпълнението на естествена вентилация с ветровентилатори е затруднено поради:

- Фабричните изпитвания на вентилаторите са предимно за устойчивостта на конструкциите при силни ветрове (над 200км/ч), както и на пожаро и водоустойчивост;
- Не са изяснени дебитите при ниски скорости на вятъра, както и данни за стартирането и спирането на вентилатора;
- Фабричните характеристики на повечето ветровентилатори показват дебит в зависимост от скоростта на вятъра само за 2-3 стойности, като за малките модели липсват реални данни;
- Не са изяснени и отчетени зависимостите за дебита на ветровентилаторите от допълнителна топлинна или газова тяга;
- Почти всички основни производители на турбинни ветровентилатори посочват данни за работата на своите съоръжения при условия , че те работят при 6m “stack height” разлика във височината при коминния ефект и 10°C разлика в температурите вътре и навън.

2 Метеорологични данни необходими за проектиране на вентилационни схеми с ветровентилатори

2.1 Метеорологични измервания

За извършване на метеорологични наблюдения за целите на ветровентилацията е използвана метеорологична станция с радио предаване на фирмата Дейвис [115] – САЩ Vantage PRO 2 (фигура 2.1). Визуализацията и трансфера на данни от станцията до персонален компютър се извършва с програмата WeatherLink (фигура 2.2).



Фигура 2.1 Метеорологична станция Vantage Pro 2

Метеорологичната станция включва различни сензори и устройства за регистрация на измерванията, предаване на данните и визуализация на информацията:

Програмата WeatherLink [116] записва всички данни от сензорите на метеорологичната станция за даден период и съхранява данните в текстови файлове. Периода на осредняване и запис на данните във файловете се настройва от 1 минута до 2 часа. Най-често осредняването е за 10 min. [107]. Данните се съхраняват в текущ файл с възможност за записване на 2500

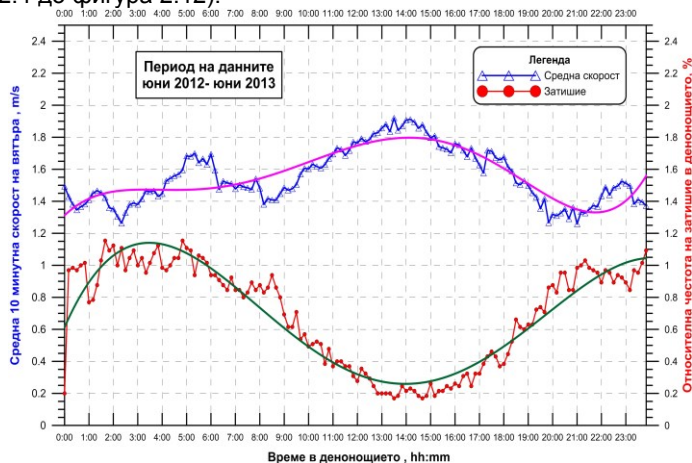
записа. Така се формира база данни за мястото, за което е необходима информация.

2.2 Подходи за събиране и обработка на данни от метеорологични наблюдения

Една съвременна метеорологична станция може да регистрира [65],[67] и запише голям обем данни (таблица 2.1 и фигура 2.3). Данните може да се групират по различни показатели:

- Средни или максимални стойности на температура, атмосферно налягане, скорост на вятъра, посока;
- Дневни/нощни стойности на изброените по-горе характеристики;
- Месечни, сезонни, годишни характеристики.

Графични примери за някои от измерванията, извършени от автора и начините на обработка са представени в основния текст на дисертацията (от фигура 2.4 до фигура 2.12).



Фигура 2.8 Разпределение на скоростта на вятъра и затишието в денонощието [100]

От групирането и статистическата обработка на данните могат да бъдат получени различни параметри на микроклиматичните условия на дадено място за определени периоди.

2.2.1 Честотно разпределение на скоростите

Зависимостта на специфичната енергия на вятъра от третата степен на скоростта определя този параметър като ключов при определяне на ветровия капацитет. Вятърът се мени като големина и посока за дадено място по сезони, по дни, по часове. Тези промени трябва да се отчетат при проектиране на използваемостта на ветровентилацията. Информация за средната скорост трябва да е налична за дълъг период от време – най-малко една цяла година или повече (някои автори препоръчват 10 годишен период) [65], [68]. Промените на вятъра за даден период от време се описват чрез функция на честотното вероятно разпределение. Най-добре вариациите

на вятъра се описват в [69], [70], [71], [72], [73] и [74] чрез вероятностното разпределение на Вейбул:

$$h(w_i) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{w_i}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{w_i}{c}\right)^k} \quad (2.13)$$

където: $h(w)$ - вероятност да има вятър със сила w , -

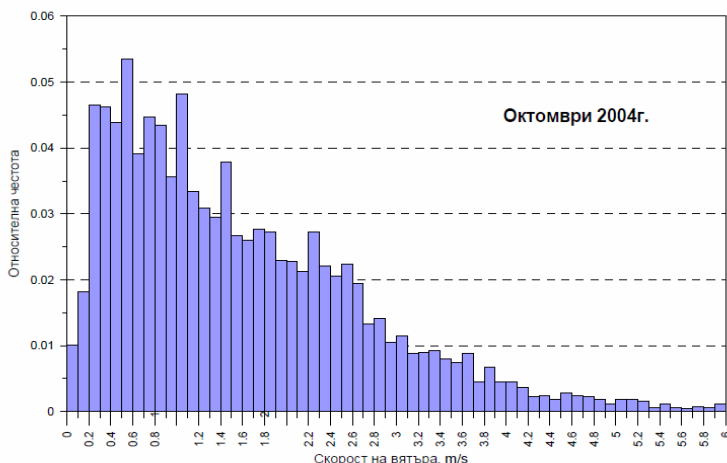
w_i – измерена скорост на вятъра, m/s

c – коефициент на големината на скоростите, m/s

k – коефициент на формата на разпределението, -

Разпределението може да се превърне и в проценти или относителни единици (фигура 2.17), което е и по-често срещаното представяне.

Скоростните интервали се представят със стълбове с различна основа в зависимост от натрупаната база данни, например 1 m/s или както е на фигура 2.17 – 0,1 m/s. По оста y се нанасят честотите (или в часове или в проценти) на реализацията на този скоростен интервал в измерването.

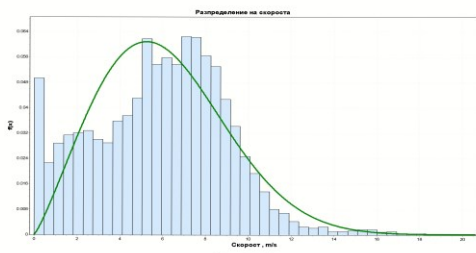


Фигура 2.17 Честотно разпределение на скоростни измервания

Въз основа на така групирани измервания се търси интерполация по Вейбул. За целта следва да се определят коефициентите на формата (k) и на големината (c). Коефициентите „ c “ и „ k “ могат да се определят по зависимости (2.14 – 2.17), както и чрез стандартни статистически процедури за графично представяне на честотното разпределение. Авторът е използвал стандартен пакет за статистически разпределения EasyFit [105]. В таблица 2.2 и фигура 2.19 са показани обработени данни от измервания с продължителност от 1 година.

Таблица 2.2 Статистически характеристики за разпределение на Вейбул от реални измервания

	Януари	Февруари	март	Април	Май	Юни	Юли	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември
Средна скорост m/s	5.49	5.89	5.58	5.699	5.49	4.76	4.748	4.909	4.842	5.388	6.88	6.38
Коефициент к	2.144	2.272	1.7314	2.231	2.0771	1.692	1.6879	1.7494	1.723	2.003	2.264	2.644
Коефициент с, m/s	6.672	6.677	6.281	6.608	6.489	6.157	6.153	6.215	6.189	6.431	7.709	7.188
Брой часове в годината	689.54	669.65	732.47	694.44	713.72	673.20	707.99	706.43	680.47	713.79	718.42	736.71



Фигура 2.19Честотно разпределение и апроксимация по Вейбул

Обобщени данни за годината:

Средна скорост, m/s	5.884
Коефициент к	2.0677
Коефициент с, m/s	6.6233
Брой часове в годината	8411

2.3 Корелация на данни от метеорологични наблюдения

Оценяване на ветровия ресурс, както беше показано в точки 2.1 и 2.2, се базира на продължителни метеорологични измервания от които се определя плътността на вятърното течение и разпределението на скоростите. Не винаги обаче е удачно продължително измерване, а от друга страна може да са налични измервания в близост до обекта. Затова се търси връзка (корелация) между налични данни и краткосрочни измервания на място. В зависимост от конкретните условия корелация може да се търси по няколко начина:

- Налични данни от два или повече пункта за мониторинг, разположени в близост до обекта;
- Използване на данни от глобални системи (като измерванията на НИМХ при БАН, или NASA) и съгласуваност със собствени измервания.

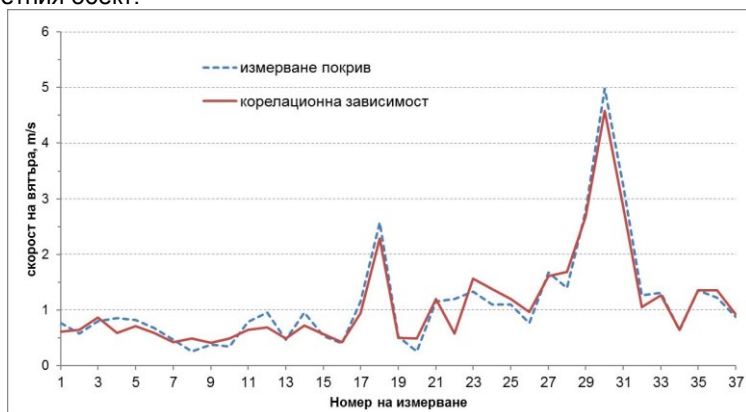
2.3.1 Корелация на данни между три станции

Във връзка с проект за проветряване на обогатителна фабрика бяха извършени измервания на покрива на фабриката и беше търсена корелация с двете постоянни метеорологични станции, регистриращи информация в продължение на няколко години. Тези станции регистрират средна скорост на вятъра в рамките на едно денонощие. За да има съответствие между измерванията на покрива на ОФ и тези от станциите на предприятието, данните за вятъра също бяха осреднени за денонощие. Търсим двуфакторна (множествена) квадратична корелация между данните от двете станции (статистически ги представяме като променливи фактор (X_1 и X_2)) и измерванията на покрива (променлива резултат (Y)).

Корелационната зависимост е следната:

$$\bar{Y} = 0,117X_1 + 0,45X_1^2 + 0,76X_2 + 0,39X_2^2 - 0,93X_1X_2 \quad (2.25)$$

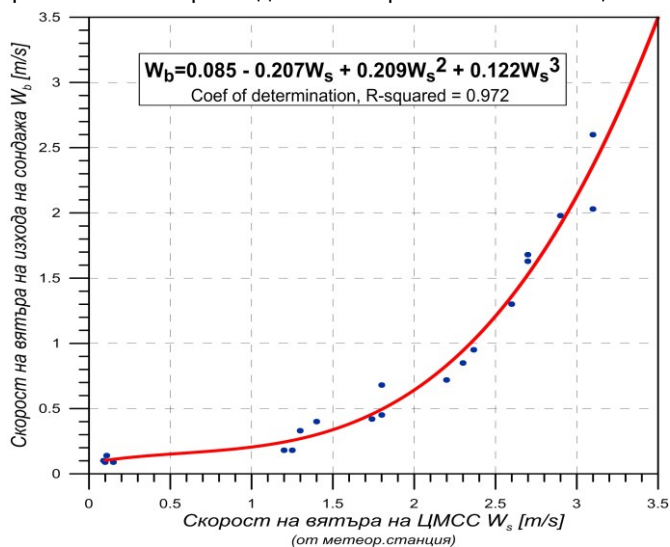
На фигура 2.23 е показано сравнение между измерените и апроксимирани стойности. По този начин може да се разчита на данните от продължителните измервания на фирмата, като се коригират по (2.25) за конкретния обект.



Фигура 2.23 Сравнение на резултатите от корелацията и реалните измервания

2.3.2 Корелация на данни между две станции

Такава корелация е представена на фигура 2.24 при която е намерена връзка между скоростите на вятъра на две близко разположени станции.



Фигура 2.24 Полиномна корелация от трета степен за скоростта на вятъра

Измервания на обекта, където е възможно да се извършат може да се осъществи в неограничено време, а наличието на корелационна

зависимост позволява да се оцени ресурса на мястото, за което са необходими данните.

3 Стендови изпитвания на турбинни ветровентилатори

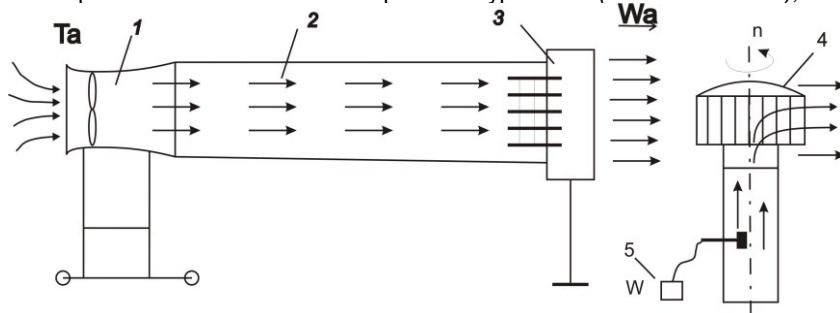
3.1 Цел и обект на лабораторните изпитвания

Целта е да се определят основни характеристики на ветровентилаторите и да бъдат намерени зависимости за проектиране на вентилационни инсталации с турбинни ветровентилатори. Обект на лабораторните изследвания са два типоразмера турбинни ветровентилатори "Hurricane" модели H150 и H225.

3.2 Опитни постановки

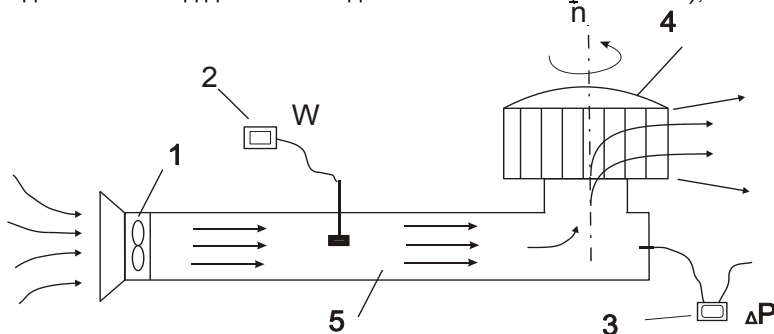
Изпитванията бяха извършени на три специално създадени за целта лабораторни стендове, конструирани и изработени в катедра "Руднична Вентилация и Техническа Безопасност"

СТЕНД № 1 - за определяне на оборотите на въртене (n_a), скоростта в тръбопровода (W) и дебита (Q_a) на засмукване от ветровентилаторите в зависимост от скоростта на обтичащият ги поток (W_a), както и за определяне на скоростите на потегляне и спиране на турбината (*Тест №1 и №2*);



Фигура 3.2 Схема на Стенд №1 с монтиран ветровентилатор

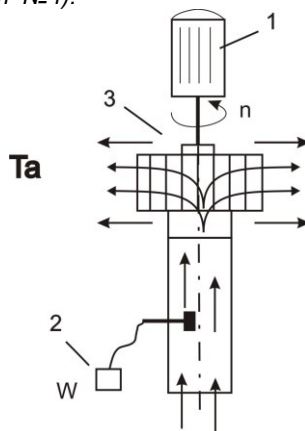
СТЕНД № 2 - За измерване на съпротивлението на турбинните вентилатори и поведението им под действие на допълнителна тяга (*Тест №3*);



Фигура 3.6 Схема на Стенд №2

1-канален вентилатор, 2- прецизен термоанемометър, 3 –Прецизен микроанометър, 4 – ветровентилатор, 5- тръбопровод

СТЕНД № 3 - определянето на параметрите на работа на изпитваните ветровентилатори с механична тяга (*Тест №4*).



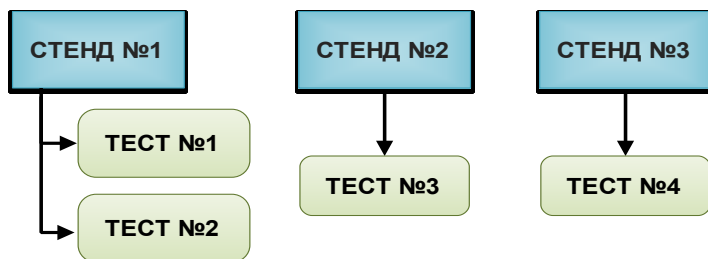
Фигура 3.9 Стенд № 3 (1- електродвигател с променливи обороти, 2 – термоанемометър, 3 ветровентилатор)

3.3 Използвана апаратура и измерителни уреди при изпитванията

Измерванията на скорости, дебити, налягания, обороти, температури и др. са извършвани по методики, съответстващи на приети и хармонизирани в България международни стандарти [6],[7],[8],[9],[10],[13] и използвани в работата на катедра „РВиТБ“ при МГУ.

3.4 Обхват на изпитванията

Със стендове № 1, 2 и 3 са осъществени четири на теста.

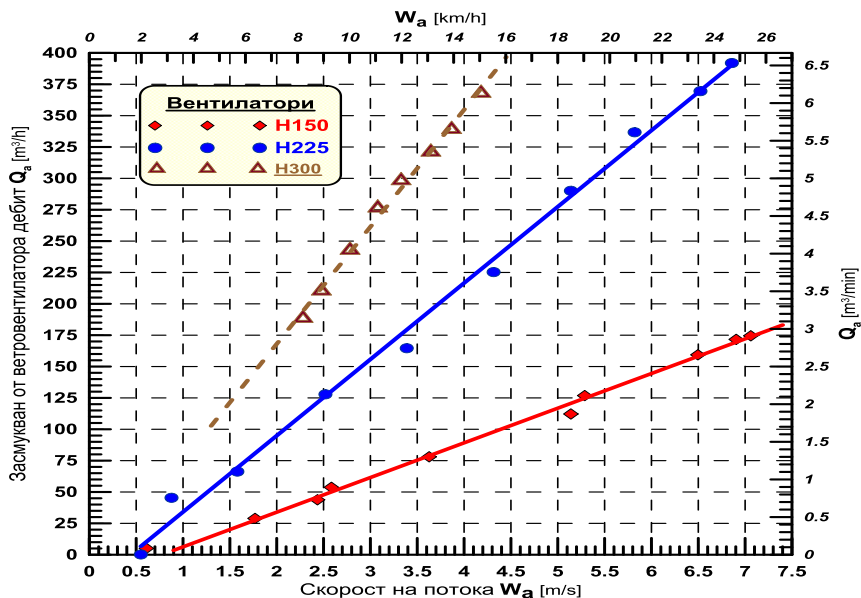


Фигура 3.10 Схема за реализация на тестовите

3.5 Резултати от изпитванията и получени експериментални емпирични зависимости

Резултати от Тест №1 – аеродинамични характеристики на ветровентилаторите при обтичане, ефективност на турбинния вентилатор, обороти.

На фигура 3.11 са показани получените аеродинамични характеристики за H150 и H225.



Фигура 3.11 Дебит на ветровентиляторите в зависимост от скоростта на обтичане.

Анализа на резултатите показва линейна зависимост между скоростта на вятъра и дебита във вида:

$$Q_a = a.W_a + b \quad [m^3 / h] \quad (3.2)$$

a, b – емпирични коефициенти: $a [m^2.s/h]$, $b [m^3/h]$ - в таблица 3.5;

W_a – скорост на обтичания поток, m/s

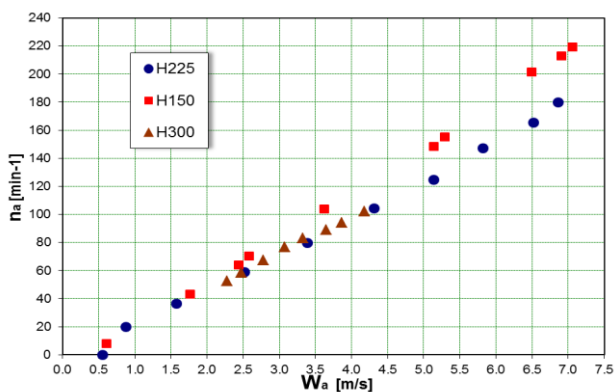
Стойностите на коефициентите са показани в таблица 3.5.

Таблица 3.5 Уравнения за дебита в зависимост от скоростта W_a

HURRCANE	$Q_a(W_a) [m^3/h]$	
H150	$Q_a = 26.913 \times W_a - 17.382$	(3.3)
H225	$Q_a = 60.841 \times W_a - 26.867$	(3.4)
H300	$Q_a = 83.342 \times W_a - 18.878$	(3.5)

Ефективност на конструкцията на ветровата турбина

Скоростният коефициент (λ - формула 3.6 от дисертацията) се изчислява като отношение между двете периферна скорост на турбината и скоростта на несмутеното течение в който се поставя вентилатора. В таблица 3.6 са представени получените резултати за тестваните вентилатори. На фиг. 3.12 е показана връзката между скоростта на потока и честотата на въртене на турбината.



Фигура 3.12 Обороти на вентилатора в зависимост от скоростта на обтичане

Таблица 3.6 Скоростни коефициенти

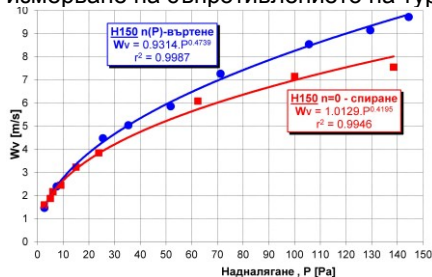
H150	$\lambda=0.498 \pm 0.039$	$\lambda_{\min}=0.426$	$\lambda_{\max}=0.540$
H225	$\lambda=0.538 \pm 0.026$	$\lambda_{\min}=0.507$	$\lambda_{\max}=0.582$
H300	$\lambda=0.605 \pm 0.017$	$\lambda_{\min}=0.573$	$\lambda_{\max}=0.623$

Резултати от Тест №2 – скорости на вентилационните потоци при които ветровентилаторите започват своята работа (въртене на турбината) и при която спират да работят (спиране на въртене на турбината). Скоростите на потегляне и спиране на изпитваните вентилатори са показани в таблица 3.11.

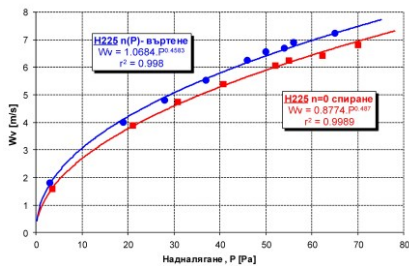
Таблица 3.11 Скорости на потегляне и спиране на H150 и H225

Скорост на ветровия поток W_a , за вентилатор	H150	H225
W_b - скорост на потегляне [m/s]	0.595 ± 0.096	0.576 ± 0.103
W_s - скорост на спиране [m/s]	0.463 ± 0.094	0.549 ± 0.048

Резултатите от Тест №3 – зависимост между работата на ветровентилатора и топлинната или вентилаторна тяга (P , P_a) - фигура 3.13 и фигура 3.14; измерване на съпротивлението на турбинните вентилатори.



Фиг. 3.13



Фиг.3.14

Съпротивлението на турбинните вентилатори е описано с двучленния закон на съпротивление [56].

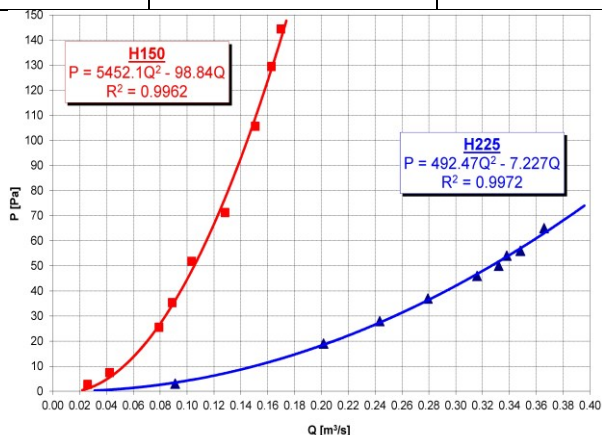
$$P = R_V Q + R_I Q^2 \quad (3.8)$$

където: P – надналягане в смукателя на турбинния вентилатор [Pa]
 R_V – вискозно съпротивление на вентилатора [kg/(s.m⁴)];
 R_I – инерционно съпротивление на вентилатора [kg/m⁷];
 Q – преминаващ през турбинния вентилатор дебит [m³/s].

Стойностите на получените коефициенти на съпротивление за изпитваните вентилатори са дадени в таблица 3.16.

Таблица 3.16 Стойности на съпротивленията за H150 и H225

	R_I , kg/m ⁷	R_V ,kg/(s.m ⁴)
Ветровентилатор H150	5452.10	-98.840
Ветровентилатор H225	492.47	-7.227



Фигура 3.15 Изменение на налягането от протичащия дебит през ветровентилатора

От уравнение (3.8) може да се определи дебита Q , както следва:

- при отрицателни стойности на вискозното съпротивление R_V :

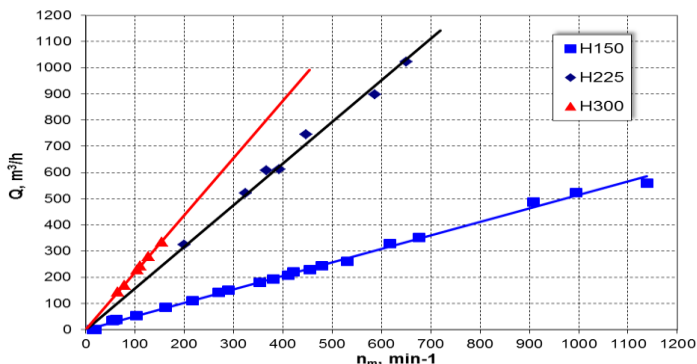
$$Q = -0.5 \frac{R_V}{R_I} \left(1 + \sqrt{1 + 4P \frac{R_I}{R_V^2}} \right) \quad [m^3 / s] \quad (3.11)$$

- при положителни стойности на вискозното съпротивление R_V :

$$Q = -0.5 \frac{R_V}{R_I} \left(\sqrt{1 + 4P \frac{R_I}{R_V^2}} - 1 \right) \quad [m^3 / s] \quad (3.12)$$

Зависимости (3.11) и (3.12) позволяват при известни или изчислени стойности на естествената тяга, характеризирана чрез разликата в наляганията ΔP , да се определи дебита, който ще пропусне вентилатора.

Резултати от Тест №4 - определяне на параметрите на работа на ветровентилаторите задвижвани с механична енергия.



Фигура 3.16 Засмукван дебит в зависимост от оборотите на въртене на ветровентилатора

Изпитваните вентилатори показват линейна зависимост на засмуквания дебит Q при изменение на честотата на въртене, която се описва с корелационното уравнение:

$$Q = \beta \cdot n_a \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (3.13)$$

където: n_a - честота на въртене [min^{-1}];

β - емпирична константа, която представя изменението на часовия дебит на вентилатора при промяна на честотата на въртене с един оборот за минута, [$\text{m}^3 \cdot \text{min}/\text{h}$];

$$\left. \begin{array}{l} \beta = 0.5141 \text{ за } H150 \\ \beta = 1.5833 \text{ за } H225 \\ \beta = 2.1876 \text{ за } H300 \end{array} \right\} \quad (3.14)$$

4 Метод за избор и проектиране на вентилационни схеми с ветровентилатори

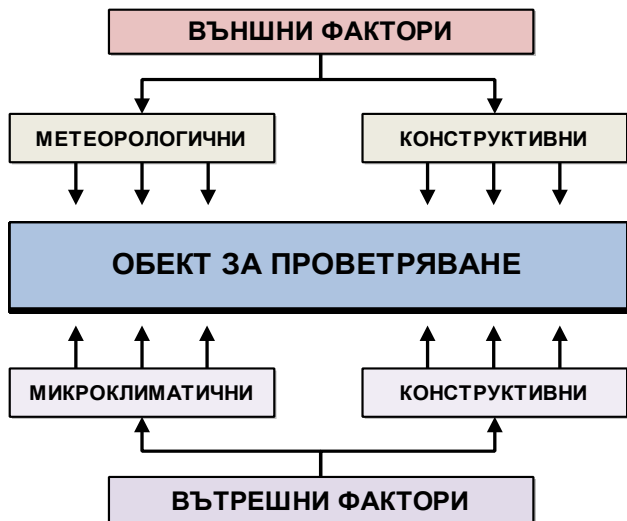
4.1 Фактори на средата оказващи влияние на вентилационните схеми с турбинни ветровентилатори

Работата на ветровентилаторите зависят от различни условия на мястото, където са разположени. Влияещите фактори могат да се разделят в две групи – външни (климатични и конструктивни) и вътрешни (микроклиматични и конструктивни (фигура 4.1). Вътрешните микроклиматични фактори зависят от характеристиките на източниците на замърсяване в помещенията, представени в обобщен вид на фигура 4.2.

Вътрешни конструктивни фактори:

- ⇒ свободни въздушни обеми, вентилирано пространство;
- ⇒ разпределение на източниците на вредности в обекта (пространствено);
- ⇒ налични отвори (входящи и изходящи) за осъществяване на естественото проветряване;
- ⇒ тип и характеристики на въздуховода, (диаметър, съпротивление, пад на налягане, дебити и др.), по който се отвеждат вредностите;
- ⇒ вид и характеристики на смукателите;
- ⇒ наличие на регулиращи съоръжения в тръбопровода;
- ⇒ разстояние на смукателните отвори до покрива;

⇒ херметичност на помещението.



Фигура 4.1 Зависими фактори за обекта на проветряване

4.1.1 Външни фактори за обекта на проветряване



Фигура 4.2 Характеристика на източника

4.2 Основни зависимости

За определяне на параметрите на работа на една инсталация с ветровентилатор са необходими 3 типа данни:

- Тип и аеродинамична характеристика на ветровентилатора – дебит и депресия ($Q=f(\Delta P)$);
- характеристики на средата в две или повече контролни сечения (външни и вътрешни) – температура, концентрация, налягане, състав на въздуха (с номер 1 – замърсени участък, с номер 2 – мястото на действие на ветровентилатора)
- данни за връзката между двете сечения (тръбопровод, заустване, дължини, коти, взаимодействие с други обекти и потоци)

Представени са основните зависимости, които се използват при изчисленията по създадения метод, като са групирани, както следва:

ЗАВИСИМОСТИ ЗА ВЕТРОВЕНТИЛАТОРА

- Обмежен дебит Q в зависимост от скоростта на вятъра W_a ;
- Скорост на потегляне и спиране на ветровентилатора;
- Загуба на налягане в зависимост от преминаващия дебит $\Delta P(Q)$;
- Обмежен дебит Q в зависимост от разликата в наляганията ΔP ;

ЗАВИСИМОСТИ ЗА ВЪЗДУШНАТА СРЕДА

- Изчисляване на плътности;
- Определяне на газови константи и концентрации;
- Изчисления за термо - влажностните параметри;
- Определяне на налягания и разликите в наляганията ΔP ;
- Изчисляване на топлинна тяга и др.

ЗА ТРЪБОПРОВОДИТЕ И ВЪЗДУХОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ СЪОРЪЖЕНИЯ

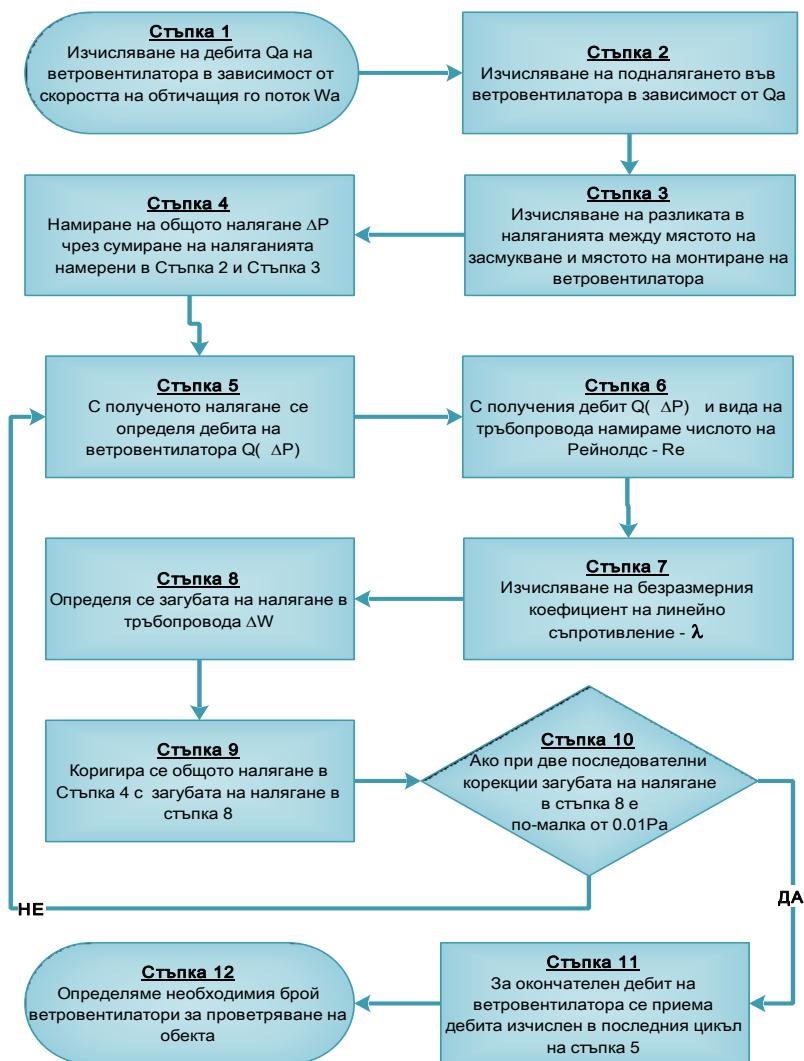
- Число на Рейнолдс;
- Еквивалентни грапавости и диаметри;
- Коефициенти на линейно и местно съпротивление;
- Загуби на налягания при движението на въздуха и др.

Последователността на изчисленията и обвързването им с факторите на средата за проветрявания обект съставляват метода за проектиране, представен в 4.3.

4.3 Метод за проектиране

Обектът, който ще се проветрява се изследва предварително на място за уточняването на:

- А)** налични метеорологични наблюдения;
 - Б)** проветрявани обеми V_0, m^3 ,
 - В)** необходими кратности на въздухообмена и необходими количества въздух за проветряване на обекта по различни фактори (пари, топлини, прахови частици, газове и т.н) [16],[19],[20],[22]
 - Д)** специфични характеристики на обекта, като размери, температури на въздуха, атмосферно налягане, видове газове, емисии и концентрации, и др.
- Изчислителната процедура е итеративна и преминава през 12 стъпки (фиг. 4.3).



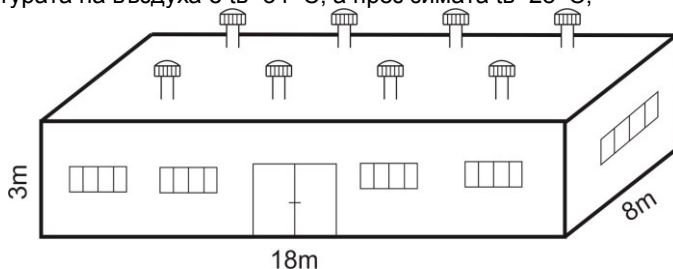
Фигура 4.3 Блок схема на изчислителната процедура

Методът е илюстриран на следния пример с данни от [88]

Промишлено помещение в което се отделя топлина е със специални изисквания към електрическата система и специален режим на достъп, но с изисквания към средата в помещението.

Задачата е да се пресметне необходимия брой ветровентилатори H225 при летен и зимен режим. Данните за външните метеорологични и климатични фактори и вътрешните микроклиматични фактори са както следва:

- Помещението се намира в района на град Пловдив; Средни стойности за лятото - температура на въздуха $t_{вн}=30.6^{\circ}\text{C}$, атмосферно налягане $P_{атм}=981 \text{ hPa}$; скорост на вятъра $W_a=4.0 \text{ m/s}$; за зимата : $W_a=4.9 \text{ m/s}$ $t_{вн}=-4^{\circ}\text{C}$. Помещението (фигура 4.4) е с размери дължина 18m, ширина 8m, и височина 3m. Необходимо е осъществяването на 4 кратен въздухообмен на час, като дължината на монтираните тръбопроводи е до 2m. В помещението се отделя топлина и през лятото средната температурата на въздуха е $t_{в}=34^{\circ}\text{C}$, а през зимата $t_{в}=28^{\circ}\text{C}$;



Фигура 4.4 Примерен склад за проветряване в ветровентилатори

Преминавайки последователно през процедурата и съответните стъпки се достига до:

Стъпка 11

Засмукваният дебит от ветровентилатора H225 за конкретните условия е $Q=0,0633 \text{ m}^3/\text{s} = 227.89 \text{ m}^3/\text{h}$

Стъпка 12

Общият обем на помещението е $V= 18*8*3=432 \text{ m}^3$. При кратност на въздухообмена $N_k=4\text{h}^{-1}$ необходимото количество въздух е:

$$Q_v = V \cdot N_k = 4 \cdot 432 = 1728 \text{ m}^3/\text{h}$$

Необходимият брой ветровентилатори H225 е $N_v=Q_v/Q = 1728/227.89=7.58$.

8 броя ветровентилатора H225 ще осигурят проветряването на помещението с исканата кратност през летния режим.

4.4 Ефективност на ветровентилацията

Предимствата на схеми с ветровентилатори може да се оценят чрез три показателя: вентилационна, икономическа и екологична ефективност.

4.4.1 Вентилационна (хигиенна) ефективност.

Извежда се като условия, при които е неприемливо или нерентабилно от вентилационна гледна точка прилагане на конвенционални вентилационни подходи;

4.4.2 Екологична ефективност

Базира се на спестени (не отделени) вредни емисии при икономия на конвенционална електроенергия. Използват се следните осреднени емисионни норми при ТЕЦ с въглища:

$$EC = 860 \text{ g CO}_2/\text{kWh}, ES= 10 \text{ g SO}_2/\text{kWh}, EN = 3 \text{ g NO}_x/\text{kWh}$$

4.4.3 Икономическа ефективност

Икономическата ефективност се представя като съпоставка на присъщите процентни разходи, свързани с изграждането и експлоатацията

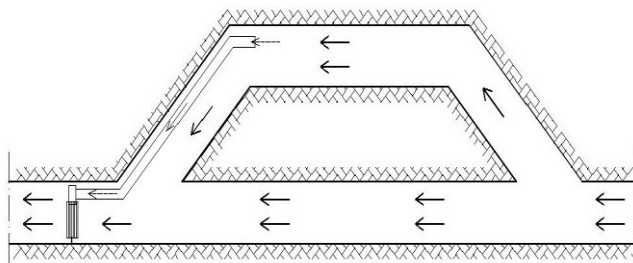
на вентилационната система с електрически и ветровентилатори. В таблица 4.3 са дадени присъщите разходи, свързани с монтирането и използването на електрически и на ветровентилатори. Данните в таблицата показват, че при използване на ветровентилатори разходите се изчерпват с доставката и монтажа на съоръжението. Няма текущи разходи за електроенергия и поддържане на инсталация, което води до неутрализиране на направените разходи за период от 3-4 години, в зависимост от вида и изпълнението на ветровентилатора. Данните за разходите са представени като процент от разходите необходими за изграждане на класическа вентилационна система изградена с електрически вентилатори, като са статистически обработени от реално проектирани системи.

5 Вентилационни схеми за проветряване на подземни обекти

Вентилатори, задвижвани от енергията на вятъра не са използвани за проветряване на подземни обекти. В тази част са представени вентилационни схеми, приложими в подземни условия.

5.1. Проветряване с проходящ поток

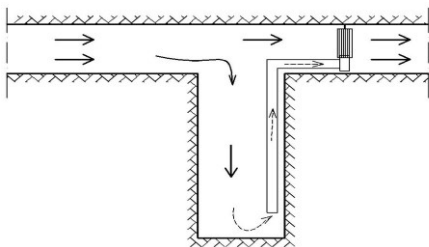
Увеличаване притока на въздух в застойни зони и увеличаване на проветривания дебит в паралелни сервизни изработки – зарядни станции, депа, складови ниши, подстанции. Може да се използва ветровентилатор, като положителен регулатор (фигура 5.1). Краят на вентилационния тръбопровод се довежда до застойните зони, засмукването от тези зони осигурява приток на чист въздух към тях и дрениране на натрупваните вредности и замърсявания. Също така могат да бъдат използвани за интензифицирането и премахването на застойни зони в добивни камери.



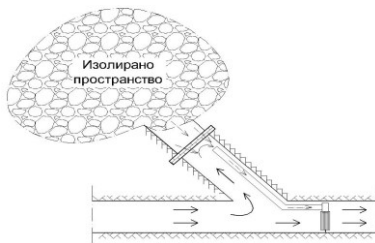
Фигура 5.1 Проветряване на застойни зони

5.2. Проветряване на глуха изработка

Принципна схема на проветряването на глуха изработка е показана на фигура 5.3. Вентилаторът се монтира след глухата изработка на разстояние, което изключва рецикулация на дренирания от нея въздух. Диаметърът на тръбопровода е до 400...500 mm. Добра практика би била предварително да се проветри пространството пред изолационни прегради (фигура 5.4).

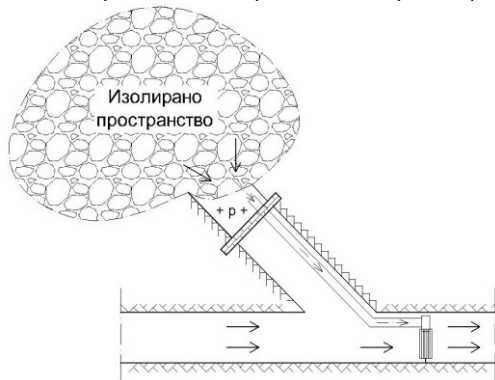


Фигура 5.3 Схемa за проветряване на глуха изработка



Фигура 5.4 Проветряване пред изолационна преграда

Схемата може да се приложи и за дриране на метан или други газове от изолираните пространства – края на вентилационния тръбопровод е зад преградата (фиг. 5.5.). Вентилаторът засмуква газовъздушна смес (метан,пожарни газове) от изолираното пространство и го смесва с преминаващия от наветрената страна през лопатките въздушен поток от галерията. Под действие на центробежното изтичане се наблюдава ефективно смесване с основния вентилационен поток след ветровентилатора. Ефективно смесване ще бъде осигурено дори когато при високи скорости зад ветровентилатора се формира турбулентен вихър.



Фигура 5.5 Схемa на дриране на газове

Дебитите които засмукват ветровентилаторите зависят от скоростта на обтичане по основната галерия в която са монтирани. С увеличаване на дебита по основната галерия се увеличава и засмуквания дебит от изолираното пространство в съотношения, които не са опасни в зоната на смесване на потоците след ветровентилатора в основната галерия.

Представената схема е реализирана в реален обект - проветряване и дегазиране на глухата част на изолирана минна изработка в рудник „Миньор“. Системата е монтирана през 2008 година и работи и към момента на представяне на този труд.

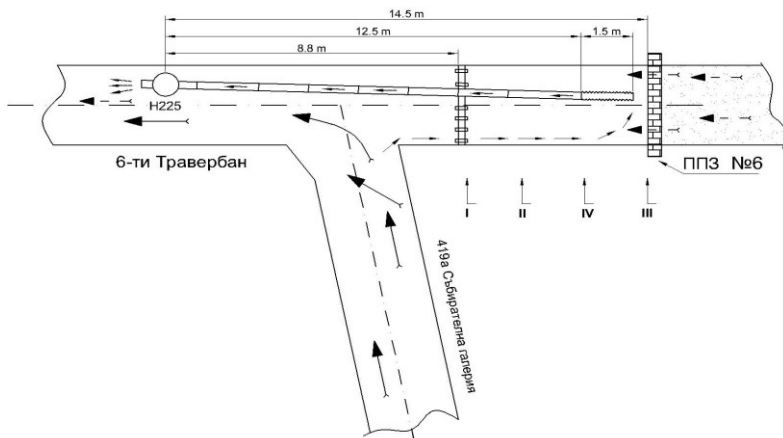
А. Описание на обекта

Две противопожарни заграждения в рудника, прилагащи към общата изходяща струя от добивните участъци, имат значимо метаноотделяне (фигура 5.6). Високото съдържание на метан между кръста на 6-ти травербан и противопожарните заграждения не позволява безопасно ежедневно обследване поради пониженото съдържание на кислород пред тях. Рудникът

не разполага с подходяща вентилационна техника за проветряване на пространството от глухата част на изработката пред преградата.

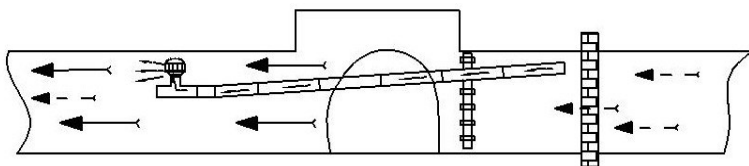
Б. Вентилационна схема с ветровентилатор H225

Схемата за местно проветряване на ППЗ№6 беше инсталирана в 6-ти травербан, както е показано на фигура 5.7. На фиг. 5.8 е показан вертикален разрез, от който е видно, че тръбопроводът е с обратен наклон и въпреки това реализацията на схемата е успешна. На фиг. 5.9 са показани кадри от монтирането на инсталацията.



Фигура 5.7 Схема на реализация на вентилационната схема с ветровентилатор H225 за дренериране на газовете пред ППЗ№6

Ветровентилатор H225 беше монтиран на около 4 m след кръста между 6-ти травербан и 419a събирателна галерия, като се задвижва от потока идващ от събирателната галерия. Към вентилатора беше монтиран посредством коляно, кръгъл метален тръбопровод с обща дължина от 14m, като последните 1.5m бяха реализирани с гъвкав тръбопровод, който тръбопровод беше доведен непосредствено пред преградата на разстояние 0.5m.



Фигура 5.8 Схема на монтажа на H225 (вертикална)

В. Резултати от реализация на схемата – реални измервания

След монтиране на вентилационната система бяха извършени две серии измервания при два характерни режима (таблица 5.2). Скоростите в таблицата са средностатистически, получени от 10 измервания през равни интервали от време.



Фигура 5.9 Вентилационната система за местно проветряване с Н-225 в рудник "Миньор"

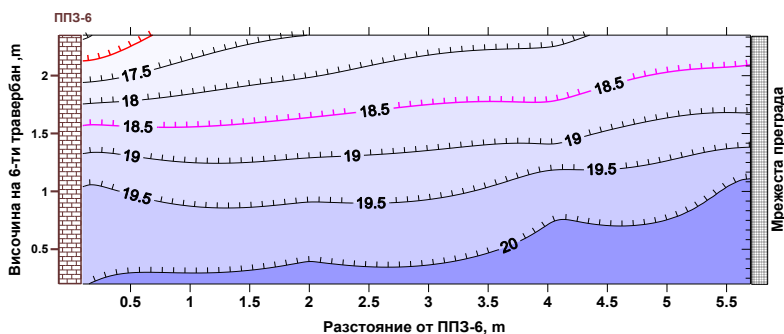
Таблица 5.2 Засмукван дебит от Н225

Локална скорост на вентилационния поток в мястото на монтиране на ветровентилатора Н225	$2.79 \pm 0.08 \text{ m/s}$
Скорост на засмукваната смес в 12.5m тръбопровод от спирално навити метални тръби Ø250	$1.18 \pm 0.013 \text{ m/s}$
Критерий на Рейнолдс в 12.5m тръбопровод от спирално навити метални тръби Ø 250	$Re = 18862 \text{ (} Re > 4000 \text{)}$ Развита турбулентност
Засмукван дебит от Н225 с 12.5m тръбопровод от спирално навити тръби Ø 250	$3.465 \pm 0.039 \text{ m}^3/\text{min}$

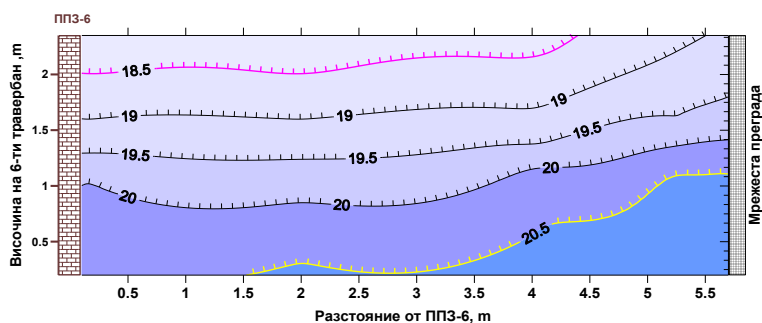
Скорост на засмукваната смес в 14 т тръбопровод Ø 250, включващ 12.5 т от спирално навити метални и 1.5 м – гъвкава тръба	$1.097 \pm 0.006 \text{ m/s}$
Критерий на Рейнолдс в 12.5 т тръбопровод от спирално навити тръби Ø 250	$Re = 17580$ Развита турбулентност
Засмукван дебит от Н-225 с 12.5 т тръбопровод от спирално навити тръби Ø 250	$3.229 \pm 0.018 \text{ m}^3/\text{min}$

На фигури 5.11 – 5.14 са показани резултатите от измерванията на концентрациите на газовете, преди и след прилагането на системата:

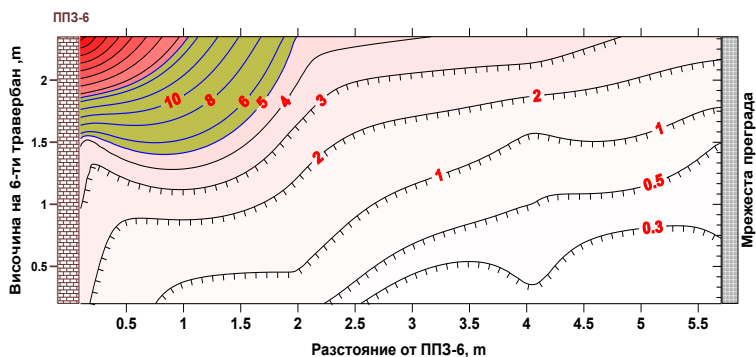
- Максималната концентрация на метан във въздуховода достигна моментна максимална стойност от 5% - 4 минути след спиране на обгазяването и остана по-ниска от тази стойност до дегазирането на изработката;
- През целия период на дегазация съдържанието на метан на 6-ти травербан в сечение, разположено на 2m след Н-225 по посока на вентилационния поток не превиши 0.6%, като средната концентрация на метан беше 0.58%.



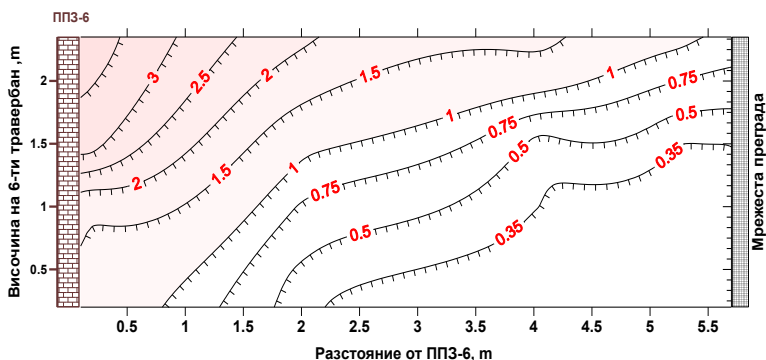
Фигура 5.11 Изолинии на концентрацията на кислород **преди** началното проветряване (без вентилация)



Фигура 5.12 Изолинии на концентрацията на кислород **след** началното проветряване с местната вентилационна система



Фигура 5.13 Изолинии на концентрацията на метан **преди** началното проветряване



Фигура 5.14 Изолинии на концентрацията на метан **след** началното проветряване с местната вентилационна система

При описаните данни местната вентилаторна уредба реализира измерени параметри (таблица 5.4) за двата изпитани режима на проветряване.

Таблица 5.4 Данни за работата на монтираната вент. система

Дебит с метален тръбопровод	m ³ /min	3.465	
Дебит с гъвкава алуминиева тръба в края на металния тръбопровод	m ³ /min	3.229	
Режим “НАЧАЛНО ПРОВЕТРЯВАНЕ” на обгазената глуха изработка			
Време за начално проветряване	min	18	обем от 31.4 m ³
Максимална концентрация на метан на 2 m след вентилатора в 6-ти травербан.	%	0.5	
Средна концентрация на метан на 2 m след вентилатора в 6-ти травербан.	%	0.423	±0.038
Максимална концентрация на метан в тръбопровода	%	4.2	

Максимална концентрация на CO ₂ в тръбопровода	%	1.46	
Минимално съдържание на кислород в тръбопровода	%	18.1	

Таблица 5.5 Данни за измерените параметри при дегазацията

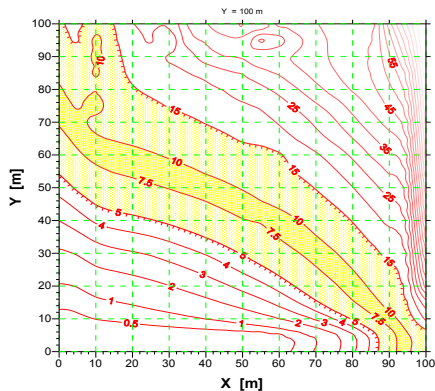
Режим "ДЕГАЗАЦИЯ" на изкуствено обгазената глуха изработка			
Изпуснат в изработката газ	m ³	9.864	за 55 s
Изпуснат в изработката метан	m ³	9.667	98% от газа
Време за дегазация	min	32	обем от 31.4 m ³
Максимална концентрация на метан на 2 m след вентилатора в 6-ти травербан	%	0.58	4.5 min след началото на дегазацията
Средна концентрация на метан на 2 m след вентилатора в 6-ти травербан.	%	0.50	
Максимална концентрация на метан в тръбопровода	%	5	за целия период на дегазация
Максимална концентрация на CO ₂ в тръбопровода	%	3.5	
Минимално съдържание на кислород в тръбопровода	%	17.78	

Анализът на резултатите от реализацията на местната вентилационна система показва следното:

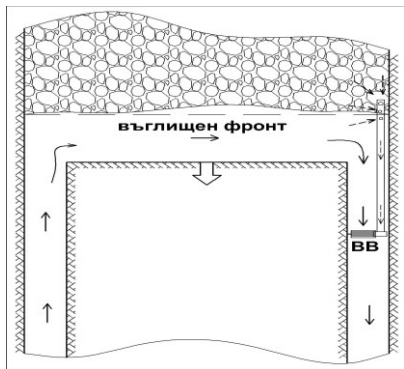
- Изградената система е функционално годна и ефективна за проветряване и дегазация на вентилационния обект;
- Системата не изисква захранване от специален източник на енергия, тъй като използва енергията на вентилационното течение, поддържано от вентилатора за главно проветряване в рудника;
- Системата е конструктивно взривобезопасна, поради липса на опасна енергия за задвижване на вентилатора, метална конструкция на въздуховода, метални връзки на тръбните звена и проводим гъвкав алуминиев накрайник;
- Системата не се нуждае от газова защита.

5.3. Проветряване на втория изход на въглищен фронт

При изземване на въглища с дълги фронтове и обратен ред на изземване метана в обрушеното пространство се концентрира в района на втория изход на фронта [89] (X=100m, Y=0m), както е показано на фигура 5.16. Ветровентилаторът може да се използва за дренiranje на изтичащия от дълбочината на обрушеното пространство метан в района на втория изход, както е показано на фигура 5.17. Благодарение на отсъствието на електрическо захранване и искрящи части вентилаторът е взривобезопасен и искронеобразуващ. Проницаемата турбина на вентилатора осигурява разреждане вътре в конструкцията преди изтичане на засмуканата газова смес и то при силна турбулизация на потока който изтича от турбината. Схемата на фигура 5.17 представя едно от перспективно приложение в подземни условия.



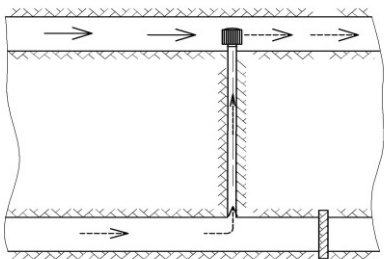
Фигура 5.16 Разпределение на концентрацията на CH_4 в обрушено пространство на въглищен фронт



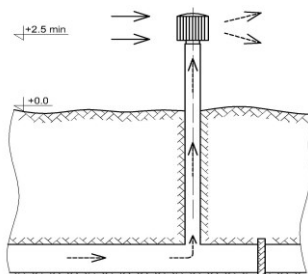
Фигура 5.17 Проветряване на втори изход на фронт

5.4. Проветряване през горно ниво

На фигура 5.18 е представена схема за проветряване през сондаж през горен хоризонт, а на Фигура 5.19 – схема за проветряване през сондаж с един) и с батерия от три ветровентилатора (Фигура 5.20), монтирани на повърхността. Последователното им свързване, за увеличаване на механичната тяга е конструктивно невъзможно. При тези условия на ефективна работа на ветровентилатора със сондаж може да се постигне, когато разликата в атмосферното налягане между входа и изхода на сондажа е достатъчно голямо и/или топлинната тяга е достатъчна за да компенсират пада на налягане в сондаж



Фигура 5.18 Проветряване през горно ниво в изработка



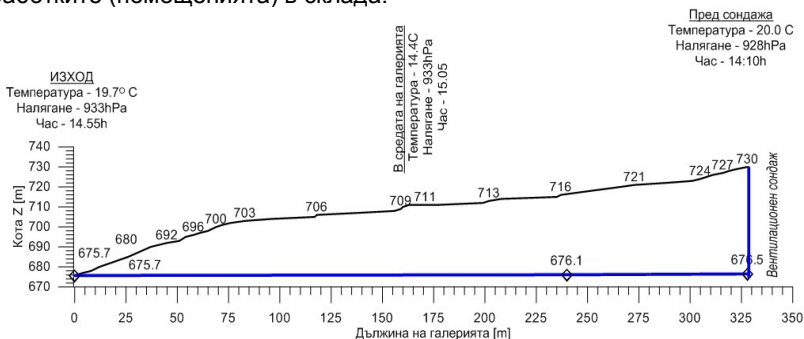
Фигура 5.19 Проветряване през сондаж от повърхността

При всички случаи на приложение на схемите за проветряване с ветровентилатори през сондажи (фигура 5.18 и фигура 5.19) е необходимо диаметърът на надземния тръбопровод да бъде по-голям от този на сондажа. Дължината на този тръбопровод, която определя височината на която работи турбината на ветровентилатора, трябва да се преценява на основата на измервания.

5.5. Разработване на комбинирани схеми за проветряване

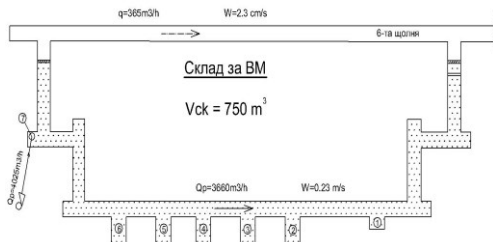
Проветряване на подземен склад за експлозиви с използването на комбинирана схема на проветряване

Взривните вещества и материали се складираат в ниши които са свързани с една или повече главни изработки в които се извършват основните дейности свързани с нормалното функциониране на складовете. Вертикалният профил на терена и изработките на съществуващ склад за взривни материали е показан на фигура 5.23, на фигура 5.24 е даден план на изработките (помещенията) в склада.



Фигура 5.23 Вертикален профил на терена на склада за взр. материали

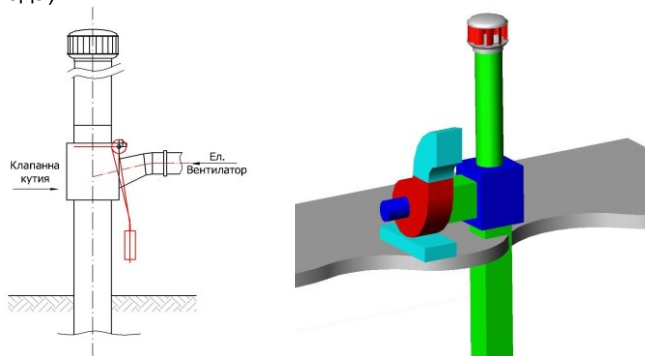
Складът за взривни материали включва пет хранилища за взривни материали и едно хранилище за електродетонатори. Складът има капацитет от 15000 kg взривно вещество и 20000 бр. електродетонатори.



Фигура 5.24 План на изработките в склада за взривни материали

Обема на помещенията (камерите) в които се складираат взривните материали е 112 m³ - а на склада заедно с прилежащата към камерите изработка е 750 m³. В склада за съхраняване на взривни материали се отделят основно азотни и серни оксиди, както и малки количества въглероден диоксид. Целта на проветряването е да се поддържат концентрациите на тези вредности под безопасните нива и влажността на въздуха да е в нормативните граници [1],[5] Складът се проветрява по нагнетателна схема с центробежен вентилатор, монтиран на изхода на сондажа на повърхността. Предложен е вариант за проветряване с *Хибридна схема* - с използване и на ветрова и на електрическа енергия. Идеята е електрическият вентилатор да работи в нагнетателен режим, когато

в изработките на склада пребивават хора. При отсъствие на хора вентилаторът се изключва и се променя режима на проветряване от нагнетателен с електрически вентилатор на смукателен режим, осигуряван от ветровентилатор. Схемата в която ветровентилатора се монтира на оста на обсадната тръба на сондажа е показана на фигура 5.27, като основен важен елемент в схемата е клапанната кутия, която позволява да се регулира по какъв начин да става връзката на ветровентилатора и класическия електрически вентилатор с устието на сондажа (или тръбопровода).



Фигура 5.27 Хибридна схема на проветряване с ветровентилатор и ел. вентилатор

Изборът на ветровентилатор се извършва по методиката, представена в част 4 и след метеорологичните измервания съгласно част 2. За конкретния случай измерванията са представени на фигури 2.11 и 2.24. и предопределят избор от среден клас ветровентилатори.

Вентилационна ефективност – осигурява се непрекъснато проветряване, като се спазват и изискванията на правилниците

Икономическа ефективност

При среднодневна 8 часова работа на вентилатора с ел. задвижване във всеки от шестте работни дни месечната икономия на енергия възлиза на 4576 kWh. Разходите за проветряване на склада само от икономия на ел.енергия с предлаганата хибридна схема ще намаляят с:

⇒ 730 лева на месец;

⇒ 8760 лева – на година,

при средна цена на ел.енергията 0.16 лв/kWh. Този резултат дава основание да се оцени срока на откупуване на инвестицията (ветровентилатор, клапанна кутия и тръбопровод) за по-малко от 2 месеца.

Екологичният ефект от внедряването на ветровентилатора, при проектния режим на работа на хибридната схема, се оценява чрез икономията на емисии както следва:

⇒ на въглероден диоксид – 59.193 тона/година;

⇒ на серен диоксид - 6.883 тона/година;

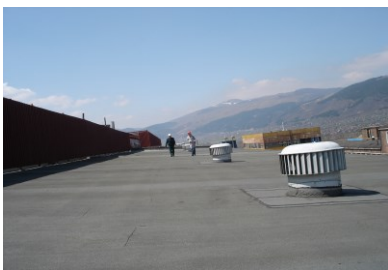
⇒ на азотни окиси - 206 килограма/година.

6 Практически приложения за проветряване на обекти с ветровентилатори

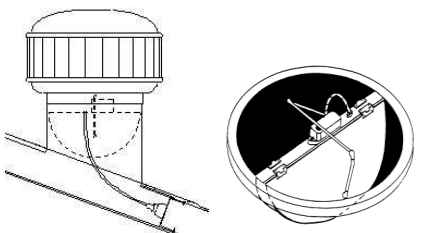
6.1 Форсиране на естествената вентилацията на електролитен цех с турбинни ветровентилатори

Реализирано е естествено проветряване на електролитен цех с ветровентилатори в металургично предприятие.

Сградата показана на фигура 6.1, в която е разположен цеха, е ориентирана по направление изток – запад. Цехът е с типична за такива производства конструкция – основно помещение с обем от $137\,214\text{ m}^3$ с технологични отвори между нивата, фонар с прозорци разположени по дължината на сградата и ниска административна част. В цеха действат голям брой площно разпределени и с голяма гъстота източници - вани, в които се извършва електролиза на анодна мед до електролитна мед.

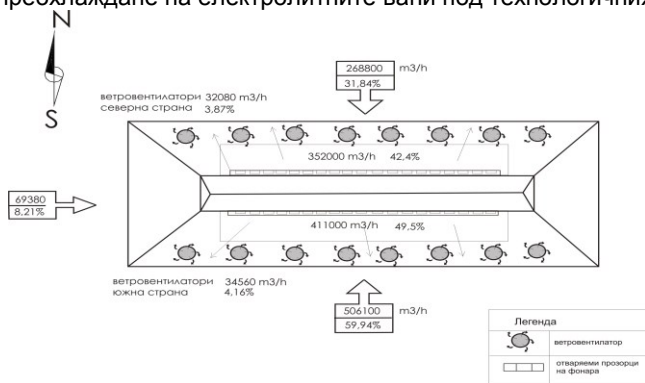


Фигура 6.4 Ветровентилатори монтирани на покрива на сградата



Фигура 6.5 Автоматизирани клапи за регулиране работата на ветровентилаторите

Бяха монтирани 16 ветровентилатори (H900 [93],[84]– по 8 от северната и от южната страна (фигура 6.4) на покрива осигуряващи засмукване и насочване на основните потоци в цеха. Ветровентилаторите имат специално антикорозионно покритие за работа в кисели среди и са снабдени с дистанционно управляеми регулируеми клапи. С тях през зимния период дебита на ветровентилаторите се дроселира, за да не се допусне преохлаждане на електролитните вани под технологичния им режим.



Фигура 6.7
Баланс на вентилационните потоци – поглед отгоре

Балансът на втичащите в цеха потоци, които преминават през работните зони, увличат и разреждат отделените вредности и на изтичащите потоци изнасящи тези вредности извън цеха е показан на фигура 6.6 и

фигура 6.7. На основата на сравнение на тези резултати със съществуващото положение преди монтирането на ветровентилатори се прави анализ на ефективността на усиленото и насочено естествено проветряване на цеха.

6.1.1 Анализ на ефективността на схемата с ветровентилатори

По методиката за оценка на ефективността на вентилационни схеми с ветровентилатори във вентилационен, икономически и екологичен аспект, подробно изложена в т. 4 е направена оценка за конкретния обект по трите показателя.

6.2 Управление на праховите опасности в приемна галерия на ТЕЦ

6.2.1 Обща характеристика на обекта.

Обекта представлява подземна галерия с правоъгълно сечение, с дължина $l=240$ м. Стоманобетонната конструкция на тавана на галерията оформя площадка на терен (к.+508.20), приети по-нататък в текста за условна к.+0.00. Пода на галерията е на к.-9.30 надлъжно от двете страни на траверсите са разположени приемните бункери с трапецовидна форма, които стесняват горната част на сечението на галерията до к.-6.00. (фигура 6.10).

Галерията има транспортно предназначение. Симетрично на надлъжната ос, работят два ГЛТ върху които въглищата се

натоварват с перкови питатели (ПП). Питателите поемат въглищата от хоризонтална подбункерна площадка на к.-6.80.



Фигура 6.11 Разтоварване на вагони в приемни бункери

6.2.2 Режим на работа на приемни бункери.

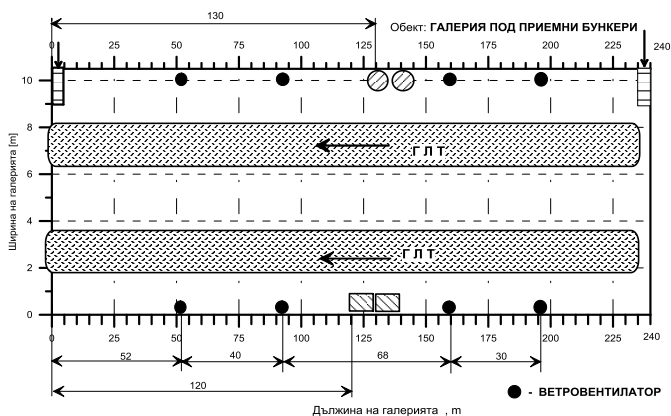
В приемните бункери постъпват кафяви и лигнитни въглища с високо съдържание на летливи вещества - за денонощие се разтоварват средно 110 вагона натоварени с 51 до 57 тона въглища.

6.2.3 Технически решения за осигуряване на нормална работна среда

Насочени са към доставката на чист въздух и насочването на замърсения за извеждане от обекта.

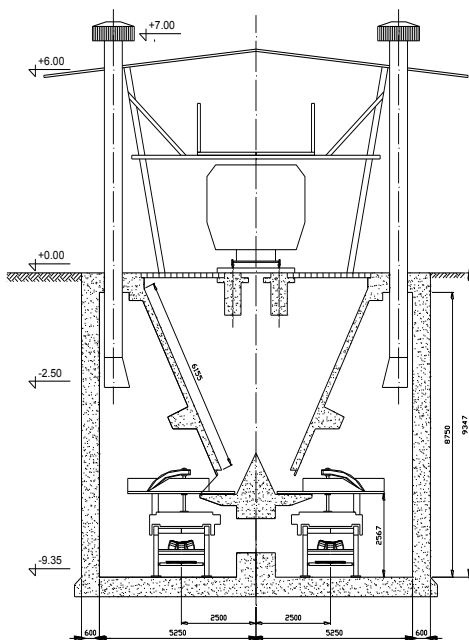
Доставка на чист атмосферен въздух в галерията

Отсъствието на механична вентилация в една подземна транспортна галерия по която се доставят въглища в ТЕЦ поставя въпроса за нейната категоризация – като помещение с повишена прахова опасност или като подземна минна изработка. Непрекъсната доставка на чист въздух в галерията може да бъде осигурена с помощта на ветровентилатори. От технологични съображения, с отчитане на положението на съществуващите отвори в тавана на галерията и на склада на въглища се предвижда монтирането на 8 ветровентилатора (по 4 от всяка страна на галерията симетрично), както е показано на фигура 6.15 в план.



Фигура 6.15
Разпределение на
ветровентиляторите
по галерията

Въз основа на метеорологични измервания (т.2), в съответствие със съществуващите отвори и възможности за монтиране и след прилагане на метода за проектиране два типа ветровентилятори (H600 и H700) се оказаха подходящи, осем на брой. Осемте вентилатора ще осигуряват обмен на въздуха в галерията за 24 - 49 min, и кратност на въздухообмена от 2.5 h^{-1} до 1.2 h^{-1} , при скорост на вятъра от 1.6 m/s до 4.5 m/s и височина на монтирането им над билото на покрива на навеса над бункерите. Важен момент във форсиране на естественото проветряване на галерията е посоката на движение на постъпващия в нея чист въздух. При предлаганата схема на монтиране на вентилаторите (фигура 6.15 и фигура 6.16) въздушните потоци в галерията ще се движат от двата крайни отвора на галерията към средата ѝ, където те създават подналягане. При тази схема разпространението на праха в галерията вече няма да се определя само от движението на питателите и транспортната лента.



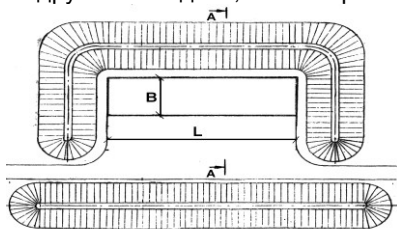
6.3 Вентилационни схеми за проветряването на складове за експлозивни и материали за взривяване

6.3.1 Нормативни изисквания по отношение на проветряването на складове за взривни материали

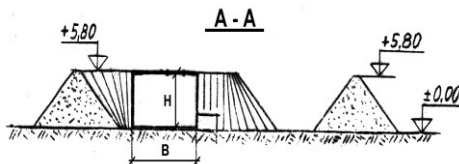
Съгласно действащите правилници [4] и инструкции вентилацията на наземните складове се извършва чрез инфилтрация и чрез естествено насочено проветряване. Завеждащият склада отваря прозорците и вратите и не напуска мястото на склада докато трае проветряването.

На фигура 6.19 е показана примерна схема на складове за боеприпаси и взривни материали на Българската армия, заедно с ограждащите съоръжения (насипи). Складовете са с формата на паралелепипед и са с плосък покрив.

На фигура 6.19 е показан поглед отгоре, а на фигура 6.20 разрез А-А на наземен склад за взривни материали. По-нататък са представени изчисления за склад № 3 в таблица 6.5, което не ограничава разсъжденията за другите складове, а само променя конкретните числови стойности.



Фигура 6.19 Поглед отгоре на взривен склад и обезопасяващи ограждения



Фигура 6.20 Вертикален разрез на типов взривен склад

Складовете са предназначени за приемане на бойни припаси и за осигуряване на тяхното правилно и безопасно съхранение с цел запазване на бойните им свойства продължително време.

Основните типове складове са с размери, показани в таблица 6.5:

Таблица 6.5 Основни размери на типовете складове

№ по ред	Ширина [m]	Дължина [m]	Височина [m]	Обем [m ³]
1	6	9	4 (3)	216 (162)
2	8	18	3	432
3	10	40	4	1600
4	12	36	4	1728
5	18	48	4	3456

6.3.2 Възможности за проветряване на наземни складове

Предявените изисквания към проветряването на наземни складове за взривни материали притежават голяма зависимост както от субективен фактор (коректно измерване на параметрите на външната и вътрешна среда и спазване на изискванията на правилника), така и от обективни причини (продължителни периоди с мъгла, дъжд, силен вятър и др.). Още повече, че съображенията за сигурност на съоръженията предполагат минимизиране на

времето за достъп до вътрешността на помещението.

Тези аргументи доведоха до представената идея за използване на ветровентилатори. Анализ на възможностите за проветряване с ветровентилатори е направен на примера на склад №3 (таблица 6.5) в градовете Балчик, Бургас, Варна, Плевен, Пловдив, Сливен и София. Средните скорости на вятъра и преобладаващите му посоки за тези градове са взети от таблични данни представени в [20].

Изчисленията за необходимия брой ветровентилатори са направени при следните условия:

- кратност на въздухообмена в помещението по-голяма от 4;
- за сезона с по-ниски средни скорости на вятъра;
- за ветровентилатори тип Hurricane [77] на австралийската фирма Edmonds Ltd с размери от 150mm до 600mm на засмукващия отвор(H150 – H600);
- конструктивно склад № 3 допуска монтиране до 5 ветровентилатора

Осигуряваният дебит от ветровентилаторите се изчислява на базата на средните скорости на вятъра за съответните региони.

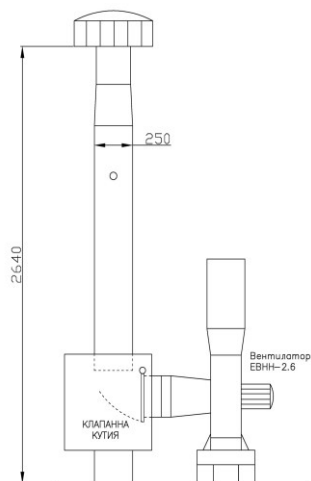
В таблица 6.7 са систематизирани резултатите от изчисленията. За склад № 3. вентилатор от тип H300 е подходящ в 70% от разглежданите случаи, за София поради ниските стойности на вятъра е необходим по-голям размер, а именно H450, докато за ветровития Сливен е необходим по-малък H150.

Таблица 6.7 Резултати от изчисленията за ветровентилацията

Населено място	Средна скорост на вятъра, m/s	Сезон	Тип вентилатор	Брой на вентилаторите
Балчик	3.5	лято	H300	4
София	0.9	зима	H450	5
Сливен	4.9	лято	H150	5
Пловдив	4	лято	H300	3
Плевен	2.3	лято	H300	5
Бургас	2.4	лято	H300	5
Варна	2.8	лято	H300	4

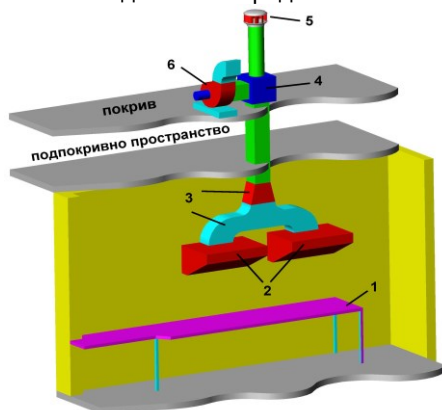
6.4 Хибридна схема за проветряване на лаборатория и стенд за изпитване на работата на ветровентилаторите при реални условия.

Беше изграден стенд за изпитване на работата на ветровентилатори в хибридна схема на работа в реални условия по отношение на техните производителности в зависимост от изменението на метеорологичните фактори които пряко влияят върху тяхната работа [92]. Изграденият стенд показан на фигура 6.23 освен за изпитване на хибридната схема на работа на ветровентилаторите с нормалните вентилатори, служи и като местна смукателна инсталация за отвеждане на вредности и проветряване на помещението на лабораторията по “Изпитване на пожароопасност и взривоопасност на промишлени прахове” в лабораторния блок на Минно - Геоложки Университет “Св. Иван Рилски”.

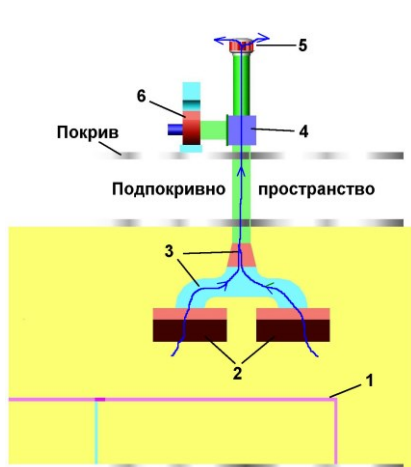


Фигура 6.23 Хибридна схема на вентилация

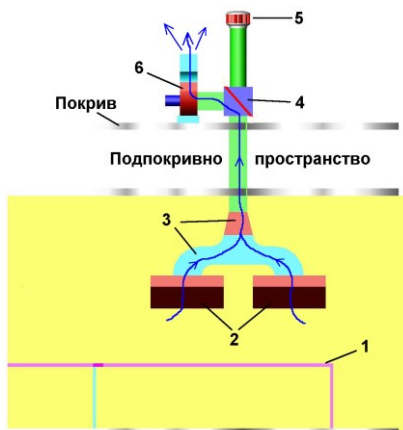
Принципна схема на стенда за изпитване на ветровентилатори включени в хибридна схема с неговите основни възли е показана на фигура 6.25. Посредством монтираната клапанна кутия (позиция 4) с автоматично управление, се предоставя възможност на оператора на стенда да използва изградената вентилационна мрежа, като класическа смукателна вентилационна система за отвеждане на продуктите отделени от стендовете при тяхната работа посредством монтираният на покрива класически центробежен вентилатор фигура 6.27. Когато стендовете за изпитване на промишлените прахове не работят или метеорологичните условия позволяват към смукателната инсталация остава да действа ветровентилатора (фигура 6.26) подпомаган от локалната топлина тяга за проветряването или за отвеждането на вредностите от помещението.



Фигура 6.25 Схема на стенда за изпитване на хибридна схема за проветряване



Фигура 6.26 Работа на ветровентилатора



Фигура 6.27 Работа на ел. вентилатор

Към системата са монтирани газ сигнализатори за непрекъснато и автоматично следене на концентрацията на горим газ или на концентрацията на въглероден оксид (CO) с възможност за подаване на управляващ сигнал за включване на електрическия вентилатор и задвижването на клапанната кутия при достигане на определени нива на концентрациите на следените газове.

6.5 Проветряване на помещение с горелка на природен газ

Проветряването на помещение, в което е изградена промишлена газова инсталация захранвана с природен газ за сушене на инертни материали и пясък се регламентира от Наредбата за устройството и безопасната експлоатация на съоръженията и уредите за природен газ

Помещението ще се проветрява с вентилационна схема, показана на (фигура 6.32), която включва:

а) **ветровентилатор тип Н300** [78], засмукващ въздух в най-високата част на помещението и изпускащ го на височина 1m над най-високата точка на покрива на сградата;

б) **вентилационни решетки със светло сечение 2 m^2** разположени до пода на помещението от западната и южната страна на сградата;

в) **центробежен вентилатор тип ВК-3.15**, оста на който е на 1.80m над пода на помещението. Вентилаторът се монтира извън котелното помещение и работи в нагнетателен режим и е снабден с лека клапа, която се отваря от налягането на въздуха при включване.

Вентилационната схема трябва да осигури постъпване в помещението на дебит от $560 \text{ m}^3/\text{h}$ от които блока на горелката ще вземе за горивния процес не повече от $420 \text{ m}^3/\text{h}$ които ще напуснат помещението заедно с изгорелите газове.

Схемата работи основно като смукателна с източник на тяга – вентилатор Н300. При включване на вентилатор **ВК-3.15/60/30** тя се

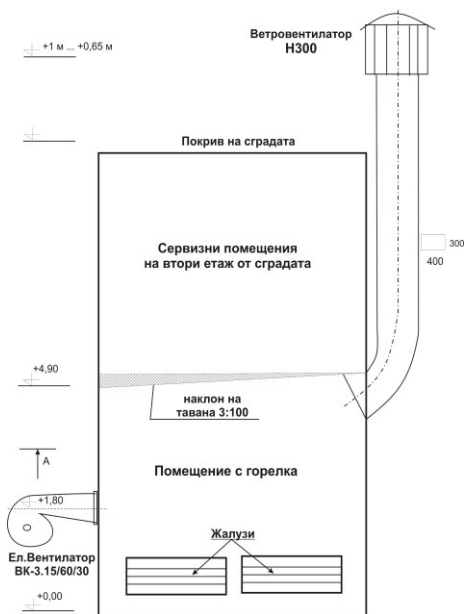
превключва без прекъсване на проветряването в комбинирана „нагнетателно-смукателна” схема.

Ветровентилатора Н300 осигурява проветриващ дебит от $600 \text{ m}^3/\text{h}$ при скорост на вятъра 0.9 m/s . Районът, в който е изградена инсталацията е ветровит и е със средна скорост, по-голяма от 0.9 m/s (3.24 km/h). При средна скорост на вятъра в студения период от 1 m/s засмуквания от Н300 дебит нараства до $650 \text{ m}^3/\text{h}$, а за средна скорост на вятъра през лятото 2.0 m/s (7.2 km/h) дебита на вентилатора ще превиши $1200 \text{ m}^3/\text{h}$.

При конструирането на схемата са взети предвид следните изисквания на стандарта 60079-10 БДС IEC 2003 [14] за категоризиране на зоните на експлозивна опасност:

- малката относителна плътност на газа, която насочва естественото му концентриране в най-високата точка на помещението, през която газа се отвежда в атмосферата от ветровентилатора Н300;
- източника на газ – който може да възникне само при аварийно освобождаване от нарушаване целостта на конструкцията или храненето с газ. В такъв недостижим, според блокировките на горелката режим, максималната концентрация на метан за изтичане на целия метанов дебит ще бъде 3.76%
- схема на работа на нагнетателния вентилатор **ВК-3.15/60/30**, която осигурява включване на горелката само в чиста от природен газ атмосфера;
- непрекъснат контрол на концентрацията на метан на две нива със сигнализация на две нива:

- предупредително – при достигане на 10% от ДГВ под тавана и
- аварийно – при достигане на 20% от ДГВ под тавана;



Фигура 6.32 Схема на проветряване на помещението с горелката

6.5.1 Режим на работа на вентилационната система

Преди всяко включване на горелката нагнетателният вентилатор ще работи 5 минути до нейното запалване и 5 минути след това. Така при всяко включване на горелката ВК-3.15 ще работи 10 минути, през което време ще нагнети 113 m^3 чист въздух ($N_k=4$) в помещението.

След изтичане на 10-те минути и спиране на нагнетателния вентилатор ВК-3.15, проветряването продължава да се осъществява от вентилатор Н300, подпомогнат от вентилатора на горивния блок на горелката и от топлинната тяга възникваща в помещението.

При спиране на горелката вентилацията продължава да се извършва от Н300 до следващото ѝ пускане.

Вентилатор ВК-3.15 изпълнява и ролята на аварийен вентилатор. При нарастване на концентрацията на метан в най-високата точка под тавана и пред смукателя на вентилатор Н300 (фигура 6.32) до 10% от ДГВ сензора за метан спира подаването на газ към горелката (както и самата горелка).

При аварийно освобождаване на природен газ от нарушаване целостта на конструкцията или захранването с газ - недостижим, според блокировките на горелката режим, максималната концентрация на метан за изтичане на целия метанов дебит и включен аварийен вентилатор ще достигне 3.76%, при които запалване на метановъздушната смес е невъзможно. Вентилационната схема не позволява образуването на взривоопасна концентрация в обема на помещението. Подробни данни за реализацията на схемата могат са дадени в [102].

7. Заключение

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

1. Направен е анализ на състоянието на проблема и са маркирани областите за развитие на схемите за вентилация с използването на ветровентилатори.
2. Оценена е важноста на метеорологичните измервания за нуждите на ветровентилацията с цел определяне на ветровия потенциал на мястото на разглеждания обект;
3. Изяснена е процедурата по събиране, съхранение, обработване на големи обеми данни за голям обем метеорологични показатели;
4. Предложени са лесни за прилагане изчислителни зависимости за определяне на плътността на въздушния поток и на честотното разпределение на скоростта на вятъра за конкретен обект;
5. Разгледани са различни случаи за съгласуване на данни от метеорологични измервания, предвид различни налични данни и възможности за допълването им с допълнителни измервания.
6. На базата на поредица лабораторни измервания, систематизирани в четири теста, извършени на три оригинални стенда, разработени за целите на тези изследвания са получени важни за използването на ветровентилатори резултати;
7. Съставен е нов метод за избор и проектиране на вентилационни схеми с използването на турбинни ветровентилатори, който дава възможност за реално отчитане на конкретните характеристики на обектите подлежащи на вентилиране. Показани са примерни решения с метода върху конкретни проблеми.
8. Предложени са различни перспективни схеми за проветряване на подземни обекти с помощта на ветровентилаторите.

9. За първи път в минната практика е реализирана система за местно проветряване с ветровентилатор, задвижван от енергията на проходящ вентилационен поток, създаван от главния вентилатор на рудника.
10. Предложени са и са реализирани различни ветровентилационни схеми за проветряването на индустриални и граждански обекти
11. Разработена е и реализирана нова „хибридна“ схема на проветряване чрез използването на ветрова или механична вентилаторна тяга в зависимост от конкретните условия и изисквания на вентилирания обект, с възможност за автоматично управление на източниците на тяга.

Проветряване и интензифицирането на вентилацията на индустриалните обекти с помощта на ветровентилаторите е идея, която е често пъти избягвана от повечето от проектантите на вентилационни инсталации и системи поради недостатъчно налична информация за първоначалните условия на реализацията на обектите. Липсата на стройна методика и последователност, както и на достоверни данни от производителите на ветровентилационни съоръжения до този момент води в не малко случаи до незадоволителни резултати при прилагането на този тип вентилация. С настоящата работа се дава една възможност за разширяване на областта на приложение на ветровентилаторите с „предвидими“, крайни резултати по отношение на вентилацията. Насоките за развитие на по нататъшните изследвания, които могат да увеличат приложението на схемите с използването на ветровентилаторите, трябва да бъдат съсредоточени в следните посоки:

- Търсене и анализ на конструкциите и материалите при създаването на ветровентилаторите;
- Оптимизиране на височините на монтиране и начините на разположение за постигане на оптимални резултати;
- Интензифициране на ветровите потоци задвижващи ветровентилаторите, чрез различни устройства или начини на разположение;
- Нови перспективни схеми на вентилация на обекти с различна насоченост
- Автоматизиране на работата на вентилационни системи с ветровентилатори, чрез различни управляващи сигнали към основните съоръжения за контрол на работата.

Искрено се надявам с тази работа да съм допринесъл, макар и в малка степен за повишаването на интереса към системите за вентилация с използването на ветровентилатори, както и да обърна внимание, че е необходимо там където условията позволяват да се използва „силата на природата“ тя да не бъде пренебрегвана. По този начин бихме могли да помогнем на тази природа, за да дадем шанс на нашите деца и бъдещите поколения да живеят в един по-добър свят.

III. ОСНОВНИ НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Научно – приложни приноси:

- 1.1. Създаден е нов метод за проектиране на вентилационни системи с турбинни ветровентилатори, в който:
 - а) се отчитат конструктивните особености на ветровентилаторите;
 - б) е оценена връзката между количеството на засмуквания от вентилатора дебит и условията в обекта (съвместната му работа с допълнителна тяга), породено от различни причини (топлинна, газова, гравитационен напор или от механична тяга);
 - в) е оценено влиянието на монтираните съоръжения в схемата за проветряване, като тръбопроводи, клапи пречиствателни съоръжения и др., върху количеството на засмуквания дебит от ветровентилатора;
- 1.2. За първи път е приложен и използван вентилатор от турбилен тип в подземна мина за дегазиране и проветряване на обгазена минна изработка.
- 1.3. Предложени са нови перспективни вентилационни схеми с ветровентилатори за проветряване на подземни обекти, с използването на енергията на вентилационните потоци в минните изработки;
- 1.4. Разработена е, и е реализирана нова „хибридна“ схема за проветряване чрез използването на ветрова или механична вентилаторна тяга в зависимост от динамиката на промяната на контролирания и управляван параметър - газ, топлина или дим, във вентилирания обект;
- 1.5. Предложен е и е експериментиран метод за корелиране на данни от метеорологични наблюдения от различни станции.

2. Приложни приноси:

- 2.1 Предложен е нов подход за набиране, групиране и статистическа обработка на данни от метеорологични наблюдения, нужни за оразмеряването на ветровентилационни схеми, проектирани по предложения метод (1.1);
- 2.2 Извършени са експерименти и стендови изпитвания на ветровентилатори за определяне на специфични параметри на работата им, съгласно създадения метод;
- 2.3 Разработената системата за локално проветряване на глуха минна изработка с турбилен вентилатор е приложена и изпитана в реални условия., като е доказала своята функционална годност, безопасност и ефективност, и която работи в продължение на вече 5 години (от 2008г.);
- 2.4 Разработени са и са приложени вентилационни схеми за проветряване на различни индустриални обекти с ветровентилатори;

IV. СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Е.Власева, **З.Динчев** М.Михайлов, “ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЕНТИЛАЦИОННИТЕ СХЕМИ С ВЕТРОВЕНТИЛАТОРИ“, Годишник на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски" том 48, свитък II, Добив и преработка на минерални суровини, София, 2005, стр. 135-141, (ISSN 1312-1820)
2. **Динчев З.**, М.Михайлов, Е.Власева “ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРОВЕТРЯВАНЕ НА ПОДЗЕМНИ ОБЕКТИ С ВЕТРОВЕНТИЛАТОРИ“. Национална научно-техническа конференция “Съвременни технологии и практики при подземно разработване на полезните изкопаеми”, 26 – 29 май 2008 г., Девин. стр.176-188. (ISBN 978-954-91547-9-5)
3. **Динчев З.**, М.Михайлов, Е.Власева “ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЕРОДИНАМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВЕТРОВЕНТИЛАТОРИ ЗА ПРОВЕТРЯВАНЕ НА ПОДЗЕМНИ ОБЕКТИ“. Втора национална научно-техническа конференция “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 07 – 10 ноември 2010 г., Девин. стр.204-213. (ISBN 978-954-92219-9-2)
4. **Динчев З.**, М.Михайлов „СИСТЕМА ЗА МЕСТНО ПРОВЕТРЯВАНЕ С ВЕТРОВЕНТИЛАТОР Н-225 ЗА ДРЕНИРАНЕ НА ГАЗ МЕТАН“ , сп. „Минно дело и геология“ бр.1-2/ ,2013г.стр.49-53, ISSN: 0861-5713