

NEW SOLUTIONS FOR PROVIDING INDIVIDUAL TEMPERATURE COMFORT IN THE CONDITIONS OF OVERHEATING MICROCLIMATE IN THE UNDERGROUND MINING OF MINERALS

Alexander Krilchev

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: krilchev@mgu.bg

ABSTRACT: Providing comfortable work conditions for workers in overheated microclimate the underground mining of minerals is an important and complex technical problem. As a solution, it is necessary to apply different approaches and methods which are related to the management and control of the physical parameters of the air in the working environment and to provide personal comfort through the use of personal protective equipment.

Key words: underground mine, microclimate conditions, heat protection, hydrogel, overheating microclimate

НОВИ РЕШЕНИЯ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ИНДИВИДУАЛЕН ТЕМПАТУРЕН КОМФОРТ В УСЛОВИЯТА НА ПРЕГРЯВАЩ МИКРОКЛИМАТ ПРИ ПОДЗЕМНИЯ ДОБИВ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ

Александър Крилчев

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Осигуряването на комфортни условия на труд на работниците в условия на на прегряващ микроклимат при подземния добив на полезни изкопаеми е важна и сложна технически задача. За решаването ѝ е необходимо прилагане на различни методи и подходи, свързани с управлението и контрола на физическите параметри на въздуха в работната среда и осигуряване на персонален комфорт чрез използване на лични предпазни средства.

Ключови думи: подземен рудник, микроклиматични условия, топлинна защита, хидрогел, прегряващ микроклимат

Въведение

При подземния добив на полезни изкопаеми всички работници в различна степен са подложени на въздействието на различни фактори на работната среда – шум, вибрации, прах, газове, осветление, лъчения. Тези въздействия създават риск за увреждане на здравословното състояние на работниците или предпоставки за възникване на различни по вид производствени аварии. Поради тази причина е необходимо да се извършва строг контрол на параметрите на работната среда с цел минимизиране на риска за здравето и безопасността на работниците. В тази връзка се прилагат различни по своята същност мероприятия (технически, технологични и организационни), свързани с елиминиране или намаляване влиянието на тези фактори до нормативно установените нива. Най-голямо значение за намаляване на вредностите до санитарно-хигиенните норми е адекватната вентилация. За правилното проветряване на изработките и експлоатация на тези системи е необходимо да се извършват периодични проверки и контролни измервания за установяване на режима на проветряване на изработките и ефективността на работа на системите за местна вентилация (Наредба № 3, 2001). В сложните (разклонени)

вентилационни системи се проявяват различни по вид, характер и поведение процеси и явления, които оказват влияние върху работата на системата. Други процеси, обаче, може да провокират сериозни нарушения на работата на системата – пожари, експлозии, рязка промяна на аеродинамични съпротивления. Поведението на системата в такива случаи е трудно предвидимо, а в реална аварийна ситуация трябва да се действа по предварително очертан план (ISO 7730, 2005). Всички тези процеси и явления могат да окажат влияние върху функционалното състояние на човешкия организъм. Като пример, при работа в условията на прегряващ микроклимат се нарушават процесите, свързани с регулирането на температурата на организма, вследствие на което се появяват първите признаци на прегряване – главоболие, гадене, повръщане и т.н. Продължителната работа в такива условия неминуемо води до различни топлинни увреждания на организма като дехидратация, топлинен удар, колапс и др. Крайният резултат от тези увреждания винаги е свързан с опасност за живота и здравето на работниците. Освен изброените въздействия могат да настъпят и различни психични изменения – нарушаване на концентрацията, забавяне на реакциите, настъпване на умора и т.н., което създава предпоставки за възникване на злополуки и аварии поради неадекватни или грешни решения при изпълнение на

различни производствени задачи. За да не се допусне това е необходимо създаване на комфортни условия на труд, посредством контрол и управление параметрите на околната среда и функционалното състояние на организма на работниците.

Мероприятия за контрол и управление на микроклиматичните условия при подземния добив на полезни изкопаеми

Осигуряването на комфортни условия на труд на работниците, извършващи различни производствени дейности при подземния добив на полезни изкопаеми в условията на прегриващ климат, е важна и отговорна задача за целия ръководен и инженерно-технически персонал. Чрез контролиране на микроклиматичните параметри на работната среда се осигуряват оптимални условия на труд, при които работниците изпълняват задълженията си, без това да оказва влияние върху живота и здравето им. Поддържането на микроклиматични условия, отговарящи на санитарно-хигиенните изисквания, се осъществява посредством различни технологични и организационни мероприятия. Към тях се отнасят:

1. Рационални схеми за разкриване и експлоатация на находището, позволяващи постъпването на въздуха в забоите по най-краткия път с цел намаляване на конвективното му загряване.
2. Ефективна вентилация.
3. Предварителен топлинен дренаж на масива.
4. Топлоизолация на скалите и минните изработки.
5. Използване на стационарни и нестационарни уредби за охлаждане на въздуха.
6. Оценка на риска от въздействие на неблагоприятни фактори на работната среда и трудовия процес върху здравето и работоспособността на хората.
7. Въвеждане на физиологичен режим на труд и почивка (Динчев, 2017).

Освен предлаганите мероприятия, важно значение за поддържане на добра терморегулация в условия на високи топлинни въздействия имат поносимостта на организма към топлинно натоварване и използване на средства за колективна и индивидуална защита. Поносимостта на организма към топлинно натоварване се определя от индивидуалната му поносимост и аклиматизация на човека към топлинни въздействия. Индивидуалната защита на работниците в условия, различни от комфортните, може да се осъществи чрез различни видове топлозащитни облекла. В зависимост от защитаваната част те се разделят на две групи:

1. Облекла за частична топлинна защита.
2. Облекла за цялостна защита на тялото.

Първата група облекла са предназначени за изпълнение на производствени дейности с леко и умерено натоварване при невисоки температури на околната среда. Облеклата от втората група се използват при тежка и уморителна работа при високи температури – за спасителни операции и ликвидиране на последици от бедствия и аварии (Динчев, Власева и Костадинова, 2018). За осигуряване на индивидуален температурен комфорт при подземния добив на полезни изкопаеми, интерес представляват облеклата за частична защита на тялото.

Съществуват различни видове охлаждащи облекла (жилетки) по отношение на конструкцията и охлаждащия елемент.

- ⇒ С водно-ледено охлаждане;
- ⇒ С конвективно - радиационно охлаждане;
- ⇒ Със сух лед.

Основните недостатъци при използване на тези жилетки са:

- ⇒ Непосредствен допир на охлаждащия елемент до човешкото тяло (при някои видове жилетки);
- ⇒ Възможност за покриване със скреж на охлаждащите елементи при температура на топлоносителя под 0 °C при използване на тънък изолиращ слой. Недостатъкът при по-дебелия слой е намаляване ефективността на охлаждане;
- ⇒ Омокряне на топлоизолиращите елементи от потта на работещия при работа с повишен енергоразход. В резултат на това те действат като студен компрес на тялото.

Всички изброени недостатъци водят до повишаване на риска от увреждане на здравето на работниците поради риск от различни простудни заболявания – пневмонии, радикулити, междуребрени невралгии и др. Друг съществен недостатък на охлаждащите облекла е, че някои от тях са със сложна конструкция (многослойните облекла на фирма Дрегер), при която поддържането им е сложно и изисква специална подготовка. Освен това, при работа в условия на високи температури, продължителността на действие на охлаждащите жилетки е приблизително около четири часа. Следователно за една работна смяна са необходими минимум два броя жилетки за всеки работник. За съхранението и транспортирането на охлаждащите елементи на голяма част от тези средства за защита, обаче, е необходимо наличие на фризер, хладилна чанта или хладилник, което също създава неудобство при използването им (Крилчев, 2013). В миналото в нашата страна са правени опити за използване на охлаждащи жилетки в условията на прегриващ микроклимат в някои от рудниците на СМОК „ГОРУБСО“. Недостатъците, обаче, свързани с подготовката, съхранението и транспортирането на използвания в жилетките охлаждащ агент (лед), както и неефективното му охлаждащо действие по време на работа, водят до отхвърляне на това индивидуално защитно средство. Понастоящем в нашата страна липсват данни за използване на охлаждащи жилетки като средство за индивидуална температурна защита, при подземния добив на полезни изкопаеми.

Използване на полимерни хидрогелове за създаване на индивидуални комфортни условия на труд в условията на прегриващ микроклимат

За да се повиши ефективността и продължителността на защитното действие на използваните облекла за частична топлинна защита, бе разработен прототип на охлаждаща жилетка, с използване на полимерен хидрогел като топлоизолиращ елемент. Той представлява натриева сол на полиакрилната киселина и има способността да сорбира многократно по-голямо количество вода от собственото си тегло. Заради това уникално свойство, тези вещества са наречени суперабсорбенти.

Понастоящем на пазара от ограничен брой производители се предлагат три типа суперабсорбер. В таблица 1 са дадени техните структурни формули и CAS (Chemikal Abstracts Services) регистрационния им номер.

Таблица 1

СУПЕРАБСОРБЕР	CAS №	Структурна формула
Полиакриламид	9003-05-8	$[-CH_2-CH(CONH_2)-]_n$
Натриев полиакрилат	9003-04-7	$[-CH_2-CH(COONa)-]_n$
Калиев полиакрилат	25608-12-2	$[-CH_2-CH(COOK)-]_n$

Първият представен абсорбер - полиакриламидът не се влияе от съдържанието на соли във водата за разлика от другите два суперабсорбера. Тази разлика в поведението му се дължи на наличието на amidна (NH₂) група в структурата му, докато натриевият полиакрилат и калиевия полиакрилат имат съответно натриев (Na⁺) и калиев (K⁺) йон в структурата. Натриевият и калиевият йон работят по-ефективно за събиране и натрупване на вода в структурата на гела, поради което натриевият полиакрилат и калиевия полиакрилат имат 4÷5 пъти по-голяма абсорбционна способност към дестилираната вода. Производителите на полиакриламид дават различни срокове на съществуване – от 18 до 36 месеца. Продуктът намира приложения за събиране на нефт при разливи, като флоакулант и за разделяне на макромолекули с различно молекулно тегло, за пречистване на отпадни води.

Натриевият полиакрилат има следните приложения:

1. В продукти за пране като съгъстител в разтвори на хипохлорид, използван в избелващи смеси.
2. В хранителната индустрия – като абсорбент на течности в материали, които влизат в контакт с храна; като диспергатор за минерални пигменти или пълнители; за производството на захар.
3. При производство на пластмаси.
4. В медицината – като охлаждащо средство при травми (Moore, 2021).

Калиевият полиакрилат се използва най-често в селското стопанство, но намира широко приложение и в :

1. Химическа промишленост.
2. Металургия;
3. Производство на горива.
4. Производство на хартия и др.

Натриевият и калиевият полекрилат се използват и за гасене на пожари и предпазване на дървени конструкции от пожари. Освен това успешно се използват и за гасене на горски пожари, пожари от нефтопродукти и събиране на разливи от нефт (нефтени петна) (Yankov, Vladkova, 2018). В комбинация с различни противопожарни средства, суперабсорберът намира приложение при защита на пожарникарите и за спасяване на хора с противопожарни одеяла, предварително обработени със суперабсорбер.

На пазара суперабсорберът се прилага в три размера:

- ⇒ Малък размер (SZ)- под 1000 μm, с преобладаваща фракция +800 ÷ 1000 μm ;
- ⇒ Среден размер (MZ)- от 850μm до 2000μm, с преобладаваща фракция +1÷2mm;
- ⇒ Голям размер (LZ)- от 1700μm до 4000μm, с преобладаваща фракция +2÷4mm;

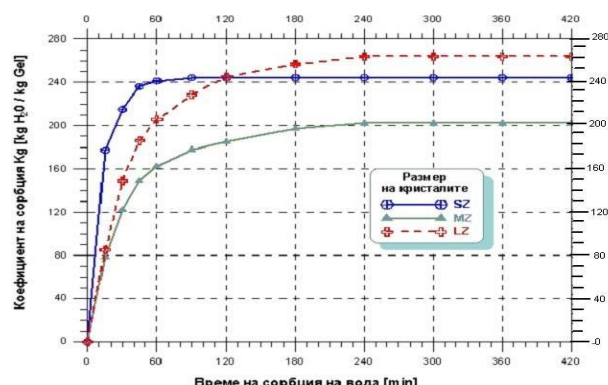
Насипната плътност на суперабсорбера се изменя от 718 до 770 kg/m³ (таблица 2). Коефициентът му на

разбухване е определен по общоприетата методика при плътност на абсорбера ρ = 13250 ± 12 kg/m³.

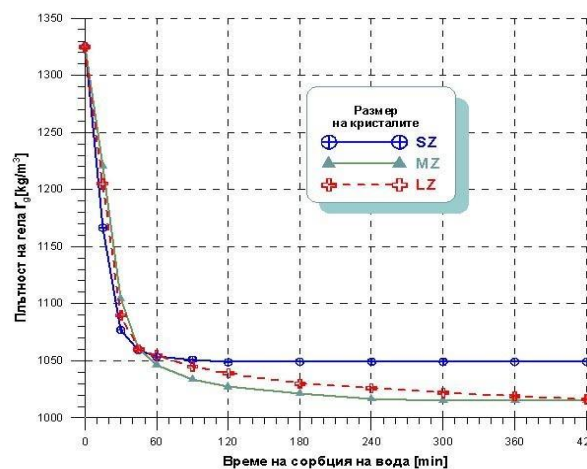
Таблица 2

Размер	Код	Зърнометричен състав, [μm]	Насипна плътност [kg/m ³]	Коефициент на разбухване
Малък	SZ	- 1000	785.6 ± 20.98	1.69
Среден	MZ	+850 - 2000	718 ± 15.4	1.85
Голям	LZ	+1700 - 4000	769 ± 18.78	1.72

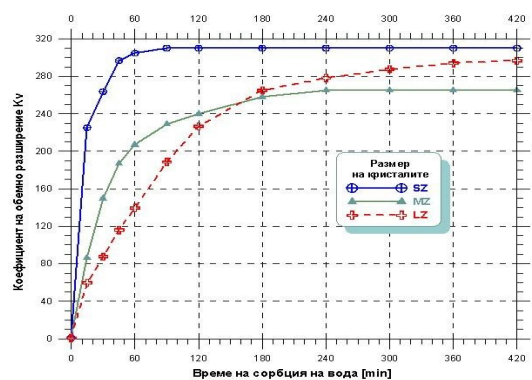
Изменението на коефициента на сорбция (фиг. 1), коефициентът на плътност (фиг. 2), и обемно разширение (фиг. 3) на трите типоразмера абсорбер при насищане с вода са определени експериментално.



Фиг. 1. Изменение коефициента на сорбция



Фиг. 2. Коефициент на плътност на абсорбера



Фиг. 3. Коефициент на обемно разширение

Проведените експерименти показват, че с увеличаване на размера на кристалите максималната сорбция намалява. Времето за насищане на кристалите с вода нараства с намаляване на размера на кристалите. Това време се колебае от 45 до 60 минути за най-малкия SZ размер до повече от 7 часа – за най-големия LZ размер. Нарастването е нелинейно и се приближава до квадратична зависимост (НАРЕДБА № 15, 1999).

За изследване скоростта на дехидратация на предлаганите защитните средства при комфортни условия и в условия на повишен риск от прегряване се проведеха два експеримента.

Подготовка на експериментите

Основание за провеждане на експериментите бяха резултатите, получени от пилотните експерименти, свързани с изследване на охлаждащия ефект на връзки с полимерен хидрогел в условията на високо температурно натоварване. Данните и резултатите от експеримента са показани в статията „Изследвания за подобряване условията на труд в среди с високи температури“ с автори гл. ас. д-р А. Крилчев и проф. д-р М. Михайлов.

Началният етап на разработване бе свързан с избора на материал и модел на жилетката. Използваният материал при изработването ѝ бе със съдържание на памук 80% и полиестер 20%. Площта на жилетката бе разделена (пикирана) на квадрати с размери 100/100mm. Преди поставяне на абсорбера в отделните клетки, бе изчислено теглото му с цел осигуряване на добър контакт с тялото на човека след водонасищането му. По този начин общото тегло на използвания абсорбер стигна 0,100 kg. Общият вид на жилетката е показан на фиг. 4.



Фиг. 4.

След зашиване на квадратите, готовата жилетка бе поставена в съд с вода за постигане на хидратация на

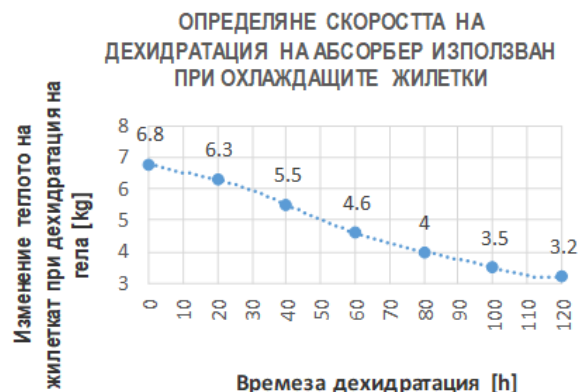
абсорбера. След пълното насищане с вода теглото достигна 6,900 kg

Провеждане на експеримент № 1

Целта на експеримента бе да се определи скоростта на дехидратация на абсорбера и степента на защита на човешкия организъм при нормални условия.

За определяне на тази скорост, жилетката бе поставена в среда с относително постоянна температура и влажност на въздуха в периода на измерване. Промяната на температурата се колебаеше в относително тесни граници от 17°C до 16,5° C, а на влажността – от 65% до 63%.

От графиката на фиг. 5 се вижда, че скоростта на дехидратация е линейна функция, зависеща от времето. Промяната на теглото на жилетката през периода на измерване показва способността на гела да задържа относително голямо количество вода за продължително време при постоянна температура и влажност. Това е пряко свързано с времето ѝ на защитно действие.



Фиг. 5. Скорост на дехидратация на гела при използване на ЛПС

Провеждане на експеримент № 2

За изследване на ефективността на охлаждащата жилетка в условията на високотемпературно натоварване, бе проведен експеримент чрез нагряване на предлаганото защитно средство с помощта на източник на инфрачервена радиация с мощност 1500W, разположен на един метър от жилетката (фиг. 6).

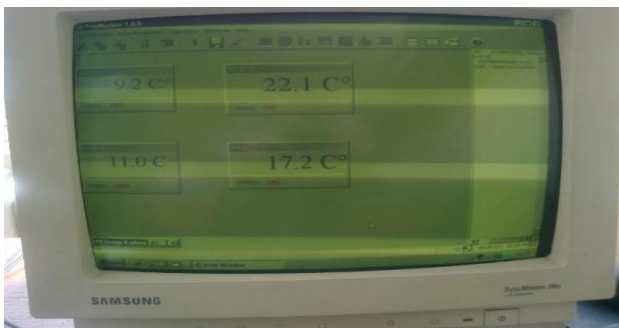


Фигура 6

Целта бе да се определи разликата в температурите на поддрешното пространство и по повърхността, подложена на нагряване. За целта бяха поставени два броя термодвойки (фиг. 7) на предварително определени места, чиито показания се следяха и регистрираха с помощта на подходящ за целта софтуер (фиг. 8).



Фиг. 7.



Фиг. 8.

Преди включване на източника на нагряване бяха измерени температурата на повърхността на жилетката – 13,9°C и температурата на използвания за целта манекен – 18,5 °C. Както е видно от регистрираните данни, нямаше голяма разлика между двете температури. Началното тегло на жилетката бе 6,900 kg. След завършване на подготвителните действия и измервания бе включен източникът на инфрачервена радиация. На двадесетата минута по повърхността на жилетката започна появата на светли петна (фиг. 9). Това бе белег за активно изпарение на водата от гела, което продължи до прекратяване на опита. Общата продължителност на експеримента бе 60 минути.

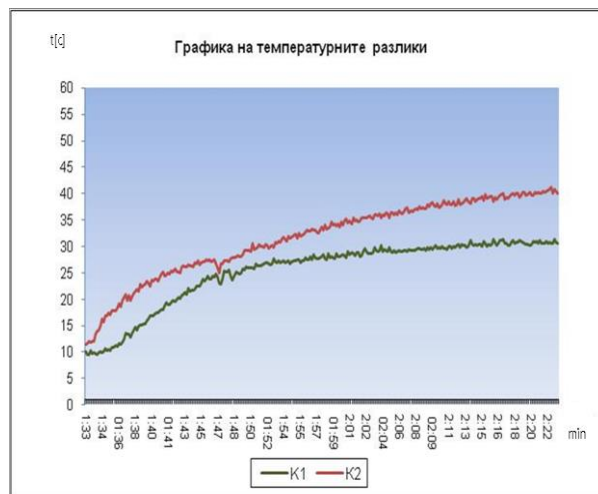


Фигура 9

След приключване на опита отново бяха измерени двете контролни температури:

- ⇒ На повърхността на жилетката – 40,8°C;
- ⇒ На повърхността под жилетката – 30,5°C.

Изменението на температурата по време на провеждане на опита е показано на фиг. 10. K1 е кривата, която показва изменението на температурата под вътрешната част на жилетката, а K2 е кривата, която показва изменението на температурата на повърхността на жилетката.



Фиг. 10.

Получените резултати показват, че въпреки интензивното нагряване на повърхността на жилетката, размахът между двете температури след 2,5 минути от началото на опита остава относително постоянен 10÷12°C. Тази разлика се запазва до края на експеримента. Измереното тегло на жилетката след опита бе 6,750 kg. Получените резултати дават основание да се счита, че предлаганото ново защитно средство показва добър изолиращ и охлаждащ ефект при сравнително ниска загуба на тегло в резултат на изпаряване на влагата от гела.

Изводи:

Получените данни от проведените експерименти в лабораторни условия показват, че:

1. Дехидратацията на гела се определя от температурата и влажността на въздуха и протича по линейна зависимост. С увеличаване на температурата и намаляване на влажността на въздуха скоростта на дехидратация ще нарасне и обратно – с намаляване на температурата на въздуха и увеличаване на влажността скоростта на дехидратация ще намалее.
2. Продължителното топлинно натоварване не влияе върху разликата в температурите на повърхността на жилетката и поддрешното пространство.
3. Резултатите от опита показват, че разликата в теглото на жилетката преди и след експеримента е незначителна. Тази разлика се дължи на изпарението на водата от охлаждащия агент, което оказва влияние върху времето на защитно действие.

Заклучение

Получените данни от проведените експерименти на предлаганите нови защитни облекла показва редица предимства по отношение на охлаждащия им ефект спрямо индивидуалните средства, използвани до момента. Предимствата им се дължат основно на използвания нов охлаждащ агент, чието действие се определя от способността му да поема голямо количество вода за кратко време. По този начин времето на защитно действие на жилетката значително се увеличава. Освен това ако преди употреба температурата на охлаждащия агент се намали с няколко градуса (чрез охлаждане), това ще доведе до още по-дълъг период на защита в условията на повишено температурно натоварване.

Като основен недостатък на жилетката се оказва високото ѝ тегло, което би довело до дискомфорт и умора на работещия при нейното използване. Това наложи създаването на нови модели жилетки и експериментиране ефективността им при използване на по-малко количество охлаждащ ефект. Целта е да се създаде универсално защитно средство (по отношение на размера ѝ), което може да се използва от всички работници при подземен добив, извършващи дейности в условията на високи физически и топлинни натоварвания, независимо от индивидуалните им особености - височина и тегло.

Литература

- ISO 7730 от 2005 г. – Ергономия на топлинната околна среда.
- Moore, Sydney. 2021. The Fireproofing Abilities of Sodium Polyacrylate in the Form of a Gel, Water Based Paint, and Spray. – *Journal of the South Carolina Academy of Science: Vol. 19: Iss. 1, Article 8.*
- Yankov St., Bl. Vladkova. 2018. Emergency actions and neutralization of oil spills. – *Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria. ISSN 2535-1176, pp. 89-96.*
- Динчев, З. 2017. Контрол на системи за местно проветряване. *Годишник на Минно-Геоложкия университет „Св. Иван Рилски“ том 60, свитък II, Добив и преработка на минерални суровини.* София.
- Динчев, З., Е. Власева, Н. Костадинова. 2018. Нови възможности за моделиране на процеси във вентилационни системи. *Шеста национална научно-техническа конференция “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, Девин.*
- Крилчев, А. 2013. *Изследвания върху управление на риска от ендогенни пожари в насипища, складове и бункери.* София, 78 стр.
- Наредба № 15 от 13.05.1999 г. за условията, реда и изискванията за разработване и въвеждане на физиологични режими на труд и почивка по време на работа.
- Наредба № 3 от 19.04.2001 г. за минимални изисквания за безопасност и опазване на здравето на работещите при използване на лични предпазни средства на работното място.