

## РОЗДІЛ «БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ»

УДК 614.8

ТОЛОК А.О., к.т.н., доцент  
КРЮКОВСЬКА О.А., к.т.н., доцент  
ЮДИНА С.А., ст. викладач

Дніпродзержинський державний технічний університет

### НЕОБХІДНІСТЬ ПОСИЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ І КОНТРОЛЮ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

**Вступ.** С точки зору розвитку і удосконалення системи цивільного захисту актуальним є урахування необхідності оптимізації та збалансованості регіональної політики за умов Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації.

Сучасний період державотворення в Україні вимагає нового, нестандартного бачення проблеми контролю за цивільним захистом населення України.

Відповідно до Закону України “Про правові засади цивільного захисту” від 24 червня 2004 року встановлено завдання цивільного захисту і основні заходи, система органів управління і урядовий орган державного нагляду у сфері цивільного захисту та сили цивільного захисту [1].

**Постановка задачі.** В умовах недостатнього контролю з боку держави за здійсненням господарської діяльності суб’єкти господарювання здійснюють роботи без належного рівня технологічного, матеріального і кадрового забезпечення, що негативно впливає на якість виконаних робіт, стан техногенної безпеки та захищеності населення від шкідливих та небезпечних техногенних факторів. Контроль з боку органів державного нагляду у сфері цивільного захисту та техногенної безпеки за потенційно небезпечними об’єктами й об’єктами підвищеної небезпеки здійснюється згідно з чинним законодавством [1, 2, 4], але в умовах відсутності регулювання з боку держави певними видами господарської діяльності не забезпечується достатній рівень захисту населення від надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Тому необхідно розробити механізм державного регулювання і контролю у сфері цивільного захисту та техногенної безпеки, основними цілями і завданнями якого було б:

- 1) забезпечення охорони життя та здоров’я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища від надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- 2) встановлення єдиного організаційного та кваліфікаційного рівнів вимог як до суб’єктів господарювання, що мають намір виконувати роботи та послуги, так і кваліфікаційних вимог до працівників суб’єктів господарювання, які безпосередньо будуть здійснювати таку діяльність;
- 3) забезпечення захисту прав споживачів, послуг та робіт;
- 4) встановлення рівності отримання ліцензійних умов для усіх суб’єктів діяльності та розвитку рівноправної конкуренції;
- 5) визначення єдиного порядку надання послуг та виконання робіт усіма суб’єктами господарювання;
- 6) нормативне визначення діяльності та її правове забезпечення;
- 7) встановлення відповідальності за порушення вимог чинного законодавства з питань цивільного захисту та техногенної безпеки.

**Результати роботи.** Для розв’язання визначених завдань пропонується застосувати наступне. Будь-який суб’єкт господарювання, що має намір здійснювати визначену господарську діяльність, повинен звернутися із заявою про видачу ліцензії до органу державного нагляду у сфері техногенної безпеки МНС України. До вказаної заяви мають бути долучені документи: копія свідоцтва про державну реєстрацію суб’єкта підприєм-

ницької діяльності або копія довідки про включення до Єдиного державного реєстру підприємств та організацій України, засвідчені нотаріально або органом, який видав оригінал документа; відомості за підписом керівника та печаткою заявника-суб'єкта господарської діяльності про наявність матеріально-технічної бази і спеціалістів, необхідних для провадження відповідного виду господарської діяльності; засвідчені в установленому порядку копії документів, які підтверджують право власності суб'єкта господарської діяльності або оренди ним обладнання та виробничих приміщень, необхідних для провадження відповідного виду господарської діяльності; засвідчені в установленому порядку копії документів, що підтверджують рівень освіти і кваліфікації спеціалістів, необхідний для провадження відповідного виду господарської діяльності, згідно з ліцензійними умовами; засвідчені в установленому порядку копії технічних умов, технологічних процесів.

Метою аналізу ситуації в галузі цивільного захисту є сприяння реалізації державної політики у сфері техногенної і природної безпеки та удосконаленню технічної оснащеності державних структур, які забезпечують попередження й ліквідацію надзвичайних ситуацій; підтримка перспективних розробок вітчизняних і зарубіжних компаній та впровадження нових наукових ідей і технологій у виробництво пожежної й аварійно-рятувальної продукції у сфері цивільного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Протистояння руйнівної стихії і людини триває всю історію людства і в найближчому майбутньому усунути його, на жаль, не вдасться. Однак такий прогноз зовсім не означає, що треба приречено чекати на черговий виклик. У багатьох державах світу вже давно на це не налаштовуються, а вживають дієвих заходів для того, щоб якщо і не перемогти в зазначеному протистоянні, то хоча б зазнати найменших втрат, максимально пом'якшити негативні наслідки.

Маючи свій вже немалий досвід, вивчивши досвід наших сусідів, світової спільноти, мусимо відзначити, що недооцінка небезпечних факторів є причиною катастрофічних наслідків, яких можна було б уникнути. Але щорічно в Україні виникає понад 60 тис. надзвичайних ситуацій, більшість – техногенного характеру, при яких гинуть і отримують ушкодження більше 6 тис. осіб. Державі наносяться матеріальні збитки до 1 мільярда гривень. Серед причин виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру є відсутність на відміну від чітко визначених законодавством України заходів щодо запобігання надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру (стаття 1 [1]), державного нагляду і контролю у сфері цивільного захисту (стаття 18, 20, 27, 29 [1]); якісного контролю за умовами проведення господарської діяльності з проектування, монтажу, технічного обслуговування локальних систем виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей про надзвичайні ситуації; проведення ідентифікації, декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки; розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій.

Відповідно до офіційних даних МНС [5] в Україні функціонує понад 1,5 тис. об'єктів промисловості, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 300 тис. тонн небезпечних хімічних речовин, у тому числі: понад 9,0 тис. тонн хлору, понад 200 тис. тонн аміаку та близько 100 тис. тонн інших небезпечних речовин. Усього в зонах можливого хімічного зараження від цих об'єктів мешкає понад 17 млн. осіб (35% населення країни).

В Україні майже 1200 відвалів вугільної промисловості, з яких понад 300 постійно горять, забруднюючи повітря газом і пилом. У зонах їх небезпечного впливу проживає 10 тис. чоловік.

На території України існує висока вірогідність руйнування гребель, дамб і водопропускних споруд 12-ти гідровузлів та 16 водосховищ річок Дніпро, Дністер, Південний Буг, Сіверський Донець.

Значно погіршився стан водопровідно-каналізаційної системи. Четверта частина водопровідних і каналізаційних споруд практично відпрацювала термін амортизації. Спрацьовано ресурс половини насосних агрегатів. Кількість аварій на один кілометр мережі складає дві аварії на рік, що значно перевищує рівень аварійності у країнах Європи.

За останні три роки виникло 983 надзвичайні ситуації, у тому числі 548 техногенного і 355 природного характеру, 18 надзвичайних ситуацій були віднесені до загальнодержавного і 57 до регіонального рівня. І це – без урахування пожеж і випадків виявлення і знешкодження боєприпасів часів другої світової війни, кількість яких в окремі роки перевищувала сотні тисяч одиниць.

Негативні процеси в економіці України обумовили зростання кількості техногенних надзвичайних ситуацій. Серед основних причин слід зазначити: неприпустимо високий рівень зносу основних фондів і вичерпання проектних ресурсів устаткування (до 50-80% у металургії, енергетиці, на транспорті); низький рівень інвестицій і, як наслідок, неможливість реконструкції і відновлення основних фондів; недостатня нормативно-правова база в області природно-техногенної безпеки на державному і регіональному рівнях.

Масштаби прямого збитку від надзвичайних ситуацій, витрати на їх ліквідацію і реабілітацію постраждалого населення та територій ставлять під сумнів можливості економіки компенсувати ці втрати й перевести країну до сталого розвитку без різкого підвищення рівня і ефективності попереджувальних заходів, що зменшують небезпеку, масштаби та наслідки надзвичайних ситуацій.

Існуюча законодавча база у цій галузі і, в першу чергу, Закони України «Про цивільну оборону України» та «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» визначають основні напрямки боротьби з НС, але необхідна розробка національної науково-технічної політики в області безпеки населення і народно-господарчих об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф.

На основі вітчизняного і закордонного досвіду і з урахуванням специфіки країни станом на 2 листопада 2009 року в Україні оголошено пандемію (6 рівень). На даний час ситуацію взято під контроль завдяки активним діям служб Міністерства з питань надзвичайних ситуацій, Міністерства охорони здоров'я, ветеринарної медицини, Міністерства внутрішніх справ. У всьому світі загроза свинячого грипу H1N1 (в зоні зараження були введені карантинні заходи: проводиться вакцинація населення, розгортаються мобільні шпиталі, населення забезпечується засобами індивідуального захисту – марлевими масками та гумовими рукавичками) призвела до прийняття заходів боротьби з пандемією на рівні держав і світової спільноти.

Розвиток пандемічної ситуації в Україні та заходи, використані українським урядом, мають свої специфічні ознаки, що відрізняються від пандемічної ситуації в розвинених країнах Західної Європи, де навіть в умовах фінансової кризи державний контроль та фінансування заходів безпеки населення підтримуються на високому рівні сумісно з достатнім соціальним забезпеченням населення.

В умовах розвитку пандемічної ситуації в Україні регіональна політика уряду за умов Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації повинна базуватися на наступних принципах державного контролю:

1. Контроль за розвитком ситуації в межах локалізації пандемії за умов проведення карантинних дій.
2. Контроль за своєчасною інформованістю населення в умовах пандемічного карантину.
3. Контроль за своєчасним і достатнім забезпеченням населення засобами індивідуального захисту.

4. Контроль за умовами проведення та забезпеченістю профілактичних заходів для локалізації пандемічної ситуації в країні.

5. Контроль за забезпеченістю центрів медичної допомоги під час пандемії лікувальними препаратами та медикаментами.

6. Контроль за соціальним забезпеченням та захистом малозабезпеченого населення під час пандемії.

Реалізація цих принципів державного контролю під час розвитку в країні пандемічної ситуації потребує від уряду забезпечення суворого контролю за розподілом та забезпеченням лікувальними препаратами та медикаментами серед населення, значних фінансових витрат на проведення профілактичних і лікувальних заходів, особливо для малозабезпечених громадян країни.

Однак, слід врахувати, що реалізація зазначених заходів, як свідчать результати аналогічної роботи в інших країнах, є найбільш складним напрямком.

В Україні прийнято і реалізується чимало державних і регіональних програм у сфері протидії надзвичайним ситуаціям. Однак треба визнати, що заходи, передбачені цими програмами, з об'єктивних причин і, насамперед, недостатнього фінансування, здійснюються повільно, не в повному обсязі і далеко не скрізь.

Це дискредитує рішення, якими програми затверджені, і як результат маємо загострення ситуації, критику і невдоволення населення.

Щоб докорінно змінити це положення, необхідно визначити комплексні заходи щодо зменшення ризиків виникнення і пом'якшення наслідків катастроф та надзвичайних ситуацій на основі виважених законодавчої, економічної і наукової баз з належним фінансуванням і матеріально-технічним забезпеченням як за рахунок коштів державного бюджету, так і бюджетів усіх рівнів, у тому числі суб'єктів господарювання незалежно від форм власності, тобто здійснити реальний перехід до нової ідеології протидії катастрофам та надзвичайним ситуаціям.

**Висновки.** Найефективніше здійснювати зазначені заходи стало б можливим після розробки і прийняття регуляторного акта про розвиток в Україні ринку послуг у визначеній галузі та дотримання вимог чинного законодавства з питань цивільного захисту у сфері техногенної безпеки. Показниками результативності буде:

1) збільшення кількості суб'єктів господарювання, які будуть виконувати визначені роботи та послуги і, відповідно, збільшення надходження коштів до державного бюджету за видачу ліцензій;

2) об'єктивність обліку потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки;

3) поширення на суб'єкти господарювання, у власності (користуванні) яких є об'єкти підвищеної небезпеки, обов'язкового страхування цивільної відповідальності за шкоду, яка може бути заподіяна аваріями відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України [3];

4) збільшення обсягу послуг і кількості робочих місць у суб'єкта господарювання;

5) забезпечення належного захисту населення, матеріальних цінностей і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що, в цілому, сприятиме розвитку підприємництва та економіки в державі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України № 1859-IV "Про правові засади цивільного захисту". — [Чинний від 24.06. 2004]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.
2. Постанова Кабінету Міністрів України № 1198 "Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру". — [Чинна від 03.08.1998]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.

3. Постанова Кабінету Міністрів України №1788 “Про затвердження Порядку і правил проведення обов'язкового страхування цивільної відповідальності суб'єктів господарювання за шкоду, яка може бути заподіяна пожежами та аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки, включаючи пожежовибухонебезпечні об'єкти та об'єкти, господарська діяльність на яких може призвести до аварій екологічного і санітарно-епідеміологічного характеру”. – [Чинна від 16.12.1998]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.
4. Закон України № 1809-III “Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру”. [Чинний від 08.06. 2004]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>.

УДК 629.039.58

КРЮКОВСКАЯ О.А., к.т.н, доцент  
 МАХОВСКИЙ В.А., к.т.н, доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

### КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ АВТОГАЗОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

**Введение.** Автогазозаправочные станции (АГЗС) предназначены для заправки транспортных средств (кроме гусеничного транспорта) сжиженной пропан-бутановой смесью. АГЗС – объект повышенного класса риска возникновения опасности. Опасности данного объекта обусловлены наличием внутри оборудования и трубопроводов газовой пропан-бутановой смеси в газообразном или жидком состоянии.

**Постановка задачи.** Основными составляющими сжиженного углеводородного газа (СУГ) являются пропан ( $C_3H_8$ ) и бутан ( $C_4H_{10}$ ), которые в зависимости от времени года смешиваются в необходимых соотношениях. В летнее время года СУГ выпускается марки СПБТ – смесь пропана и бутана техническая, в зимнее время года – БТ – бутан технический. В табл.1 приведены характеристики физико-химических, взрывопожароопасных и токсичных свойств газовой смеси по ее основным компонентам.

Таблица 1 – Характеристики физико-химических, взрывопожароопасных и токсичных свойств газовой смеси по ее основным компонентам

Пропан, $C_3H_8$	Бутан, $C_4H_{10}$
Физико-химические характеристики	
Горючий бесцветный газ. Молекулярная масса составляет 44,096; теплота образования «минус» 103,8 кДж/моль; температура кипения «минус» 42,06 <sup>0</sup> С; коэффициент диффузии газа в воздухе 0,0977 см <sup>2</sup> /с; плотность сжиженного газа 501,5 кг/м <sup>3</sup> .	Горючий бесцветный газ. Молекулярная масса составляет 58,123; температура кипения «минус» 0,5 <sup>0</sup> С; теплота образования «минус» 126 кДж/моль; плотность сжиженного газа 578,9 кг/м <sup>3</sup> при 20 <sup>0</sup> С; плотность по воздуху 2,0665.
Взрывопожароопасные свойства	
Температура самовоспламенения 470 <sup>0</sup> С; температура вспышки 96 <sup>0</sup> С; теплота сгорания 46353 кДж/кг; скорость распространения пламени 0,39 м/с; концентрационные пределы распространения пламени смеси пропана с воздухом: 2,1÷9,5% (об.).	Температура самовоспламенения 405 <sup>0</sup> С; температура вспышки 69 <sup>0</sup> С; теплота сгорания 45713 кДж/кг; максимальное давление взрыва 843 кПа; максимальная скорость распространения пламени 0,45 м/с; минимальная энергия зажигания 0,25 мДж; концентрационные пределы распространения пламени смеси бутана с воздухом 1,5÷9,1 % (об.).

Продолжение таблицы 1

Токсичные свойства
При попадании на кожу вызывают ожоги (обморожение). Присутствие в воздухе сероводорода одновременно с «пропан-бутаном», а также повышенная температура окружающего воздуха усиливают токсичный эффект. Ощущение запаха у человека наступает при концентрации бутана в воздухе 0,328 мг/дм <sup>3</sup> . Через 5-8 мин наступает головокружение, возбуждение, сильное раздражение слизистой глаз, носа, горла, оглушение, замедление пульса до 40-50 ударов в минуту, рвота. На следующий день: повышение температуры, снижение кровяного давления. Возможны пневмония, потеря памяти, быстрое удушье, отравление и смерть человека.

Очевидно, что в процессе работы АГЗС необходимо иметь четкое представление о возможных основных опасностях, таких как пожары и взрывы.

Целью проведения настоящего анализа является определение опасностей, возможных аварий и их последствий с учетом следующих факторов: 1) химических и физических свойств смеси сжиженного газа пропан-бутана; 2) значений параметров процесса приема, хранения и выдачи топлива; 3) конструктивных особенностей оборудования, которые обуславливают наличие опасностей, присущих данному типу оборудования; 4) фактического состояния оборудования и трубопроводов объекта обследования, условий его эксплуатации; 5) местоположения объекта; 6) технических и организационных возможностей АГЗС по предотвращению перехода аварийной ситуации в аварию и локализации последствий произошедшей аварии.

**Результаты работы.** Основным технологическим параметром эксплуатации АГЗС, представляющим непосредственную опасность, является избыточное давление.

Доставка сжиженного газа пропан-бутана на АГЗС осуществляется в автоцистернах-заправщиках под давлением 1,6-1,8 МПа. Хранение сжиженного пропан-бутана в резервуарах АГЗП осуществляется под давлением 1,56 МПа. Подача сжиженного пропан-бутана из автоцистерны в резервуары и из резервуаров в газораспределительную колонку также осуществляется под давлением.

Избыточное давление сжиженного газа в случае нарушения герметичности оборудования, трубопроводов, арматуры, гибких шлангов обуславливает образование струйной утечки, которая характеризуется определенной скоростью и отличается следующими опасностями:

- скорость струи приводит к направленному выбросу технологической среды на значительные расстояния и тем самым увеличивает площадь пролива (испарения), габариты (массу) взрывопожароопасного облака и попадание горючих веществ на людей (увеличение опасности ожогов в случае загорания);

- увеличение массы выброса по сравнению с выбросом без избыточного давления за одинаковый промежуток времени.

Превышение максимального разрешенного уровня жидкости в резервуарах транспортировки и хранения сжиженного пропан-бутана может привести к резкому повышению давления при повышении температуры, нарушению герметичности и реализации опасностей, присущих избыточному давлению.

Повышение температуры смеси пропан-бутана в резервуарах за счет интенсивного притока тепла извне также может привести к резкому повышению давления, нарушению герметичности и реализации опасностей, присущих избыточному давлению.

Высокая вероятность возникновения аварии с тяжелыми последствиями на АГЗС обусловлена наличием в качестве рабочей среды пожаровзрывоопасных веществ

– сжиженной смеси пропан-бутана. В случае утечек пропан-бутан образует с воздухом взрывоопасные или горючие (в зависимости от концентрации) смеси. Взрыв или возгорание («пожар-вспышка») таких смесей, а также факельное горение утечки возможны только при наличии инициатора (открытый огонь, искры, разряды статического электричества, грозовые разряды), лишь иногда – самовоспламенение или самовозгорание.

Основными технологическими процессами, осуществляемыми на автогазозаправочных станциях, являются: 1) прием сжиженного газа пропан-бутана из автоцистерны-заправщика в резервуары; 2) хранение сжиженного газа пропан-бутана в резервуарах; 3) отпуск сжиженного газа пропан-бутана потребителю (заправка автомобилей).

Поражающие факторы при взрывах и пожарах относятся к поражающим факторам физического действия. При техногенных взрывах поражающими факторами являются воздушная ударная волна и осколки разрушенного оборудования, при пожарах – открытый огонь и тепловое излучение. В табл.2-5 приведены характеристики степени воздействия ударной волны и степени поражения в зависимости от интенсивности теплового излучения.

Таблица 2 – Характеристика степени разрушения ударной волной

Элементы, объекты	Разрушение		
	Слабое	Среднее	Сильное
Производственное здание	Разрушение наименее прочных конструкций здания и агрегатов; заполнение дверных и оконных проемов, срыв кровли; основное оборудование повреждено незначительно	Разрушение кровли, пергородок, а также части оборудования, повреждение подъемно-транспортных механизмов	Значительные деформации несущих конструкций, разрушение большей части перекрытий, стен и оборудования
Оборудование	Повреждение шестерен и передаточных механизмов, обрыв маховиков и рычагов управления. Разрыв приводных ремней	Повреждение и деформация основных деталей, повреждение электропроводки, приборов автоматики	Смещение с фундаментов, деформация станин, трещины в деталях, изгиб валов и осей, повреждение электропроводки
Сооружения и сети	Частичное повреждение стыков труб, контрольно-измерительной аппаратуры	Разрыв и деформация труб в отдельных местах, повреждение стыков, фильтров, баков, выход из строя контрольно-измерительных приборов. Разрушение и сильная деформация резервуаров выше уровня жидкости	Разрушение и деформация большей части труб, повреждение отстойников, насосного и другого оборудования

Таблица 3 – Характеристика степени поражения людей в зависимости от значения избыточного давления  $\Delta P$

Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Поражения (травмы)	Характер поражения
20 - 40	Легкие	Легкая общая контузия организма, временная потеря слуха, ушибы и вывихи конечностей
40 - 60	Средние	Серьезные контузии, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей, сильные вывихи и переломы конечностей
60 - 100	Тяжелые	Сильная контузия всего организма, повреждение внутренних органов и мозга, тяжелые переломы конечностей. Возможен смертельный исход
Свыше 100	Крайне тяжелые	Получаемые травмы очень часто приводят к смертельному исходу

На основе анализа технологической схемы АГЗС и с учетом физико-химических свойств веществ, используемых в качестве рабочей среды, проведена оценка параметров возможного взрыва, пожара, характеристика токсического заражения с определением зон поражения и количеством возможных жертв. Оценка проведена по известным методикам [1-5], которые позволяют с достаточной точностью определить возможные последствия аварийных ситуаций на АГЗС.

Таблица 4 – Предельно допустимая интенсивность теплового излучения «огненного шара»

Степень поражения	Доза теплового излучения, кДж/м <sup>2</sup>
Ожог 1-й степени	320
Ожог 2-й степени	220
Ожог 3-й степени	120

Таблица 5 – Предельно допустимая интенсивность теплового излучения пожаров проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20-30 с Ожог 1-й степени через 15-20 с Ожог 2-й степени через 30-40 с	7,0
Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1-й степени через 6-8 с Ожог 2-й степени через 12-16 с	10,5
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12%) при длительности облучения 15 мин	12,9
Воспламенение древесины с окрашенной масляной краской по строганой поверхности; воспламенение фанеры	17,0



В качестве оценки последствий возможных аварий на АГЗС рассмотрены аварийные ситуации, которые могут возникнуть на каждом из технологических процессов. Для расчетов параметров аварий, связанных с автоцистерной, приняты следующие исходные данные: 1) загрузка автоцистерны-заправщика: 8 м<sup>3</sup> смеси пропан-бутана; 2) нарушение герметичности автоцистерны с выбросом всего топлива; 3) удельный вес СУГ равен 520 кг/м<sup>3</sup>; 4) характер пролива: свободный; 5) температура окружающего воздуха 20<sup>0</sup>С; 6) длительность испарения: время полного испарения, но не более 3600 с; 7) теплота сгорания смеси пропан-бутана: 46343 кДж/кг; 8) доля приведенной массы газа, участвующей во взрыве 0,1; 9) средняя поверхностная плотность теплового излучения для сжиженных углеводородных газов: от 40 до 80 кВт/м<sup>2</sup> в зависимости от диаметра очага; 10) удельная скорость выгорания углеводородных газов: 0,1 кг/(м<sup>2</sup>с); 11) метеоусловия: ясно, безветрие.

В табл.6-9 представлены результаты расчетов параметров аварий, связанных с автоцистерной.

Таблица 6 – Количественная оценка показателей взрывоопасности пролива смеси пропан-бутана из автоцистерны-заправщика

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Оборудование
		Автоцистерна (объем пролива 8 м <sup>3</sup> )
Количество паров, принимающих участие в аварии	кг	3536
Общая приведенная масса горючих паров, т	кг	3625,4
R <sub>1</sub>	м	40,2
R <sub>2</sub>	м	48,4
R <sub>3</sub>	м	82,2
R <sub>4</sub>	м	130,6
R <sub>5</sub>	м	294,0

R<sub>1</sub> – радиус зоны полного разрушения зданий и смертельной опасности для людей, на границе которой избыточное давление по фронту ударной волны ( $\Delta P \geq 100$  кПа);

R<sub>2</sub> – радиус зоны сильных разрушений строительных конструкций, обрушения кирпичных стен и смертельной опасности для людей ( $\Delta P = 70$  кПа);

R<sub>3</sub> – радиус зоны слабых разрушений строительных конструкций, для восстановления которых требуется их частичная разборка, и смертельной опасности для людей на открытой местности ( $\Delta P = 28$  кПа);

R<sub>4</sub> – радиус зоны слабых разрушений (разрушение оконных проемов, легкобросываемых покрытий) и тяжелого травмирования людей на открытой местности ( $\Delta P = 14$  кПа);

R<sub>5</sub> – радиус зоны частичного разрушения остекления, нижний порог поражения людей на открытой местности ( $\Delta P = 5$  кПа).

Таблица 7 – Количественная оценка пожара пролива смеси пропан-бутана из автоцистерны

Расстояние от центра пролива, м	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Степень поражения
1	2	3
30,8	10,7	Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1-й степени через 6-8 с Ожог 2-й степени через 13-16 с
39,6	7,2	Непереносимая боль через 20-30с Ожог 1-й степени через 15-20 с Ожог 2-й степени через 30-40 с

Продолжение таблицы 7

1	2	3
52,6	4,2	Безопасно для человека в брезентовой одежде
92,0	1,4	Без негативных последствий в течение длительного времени

Таблица 8 – Количественная оценка теплового излучения при образовании «огненного шара»

Расстояние до объекта облучения, м	Продолжительность существования «огненного шара», с	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Доза теплового излучения, кДж/м <sup>2</sup>
1	2	3	4
R <sub>1</sub> =90,8	10,94	29,3	2,7
R <sub>2</sub> =110,0		20,1	1,8
R <sub>3</sub> =144,0		11,0	1,0

R<sub>1</sub> – зона, в которой степень поражения человека характеризуется ожогом 3-й степени;

R<sub>2</sub> – зона, в которой степень поражения человека характеризуется ожогом 2-й степени;

R<sub>3</sub> – зона, в которой степень поражения человека характеризуется ожогом 1-й степени.

Таблица 9 – Количественная оценка ударной взрывной волны при образовании «огненного шара»

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Автоцистерна жидкого топлива
Энергия, выделившаяся при изоэнтропическом расширении топлива при разрушении резервуара	Дж	203320000
Общая приведенная масса горючих паров, т	кг	45,0
R <sub>1</sub>	м	9,4
R <sub>2</sub>	м	11,3
R <sub>3</sub>	м	19,2
R <sub>4</sub>	м	30,6
R <sub>5</sub>	м	69,0

Для расчета последствий возможных аварий, связанных с хранением пропан-бутановой смеси, рассмотрен вариант с хранением топлива в наземных резервуарах (чаще используемые):

- объем резервуара: 4,85 м<sup>3</sup>;
- удельный вес СУГ: 520 кг/м<sup>3</sup>;
- характер пролива: свободный;
- температура окружающего воздуха: 20 °С;
- длительность испарения: время полного испарения, но не более 3600 с;
- теплота сгорания пропан-бутана: 46343 кДж/кг;
- доля приведенной массы газа, участвующей во взрыве: 0,1;
- средняя поверхностная плотность теплового излучения для сжиженных углеводородных газов: от 40 до 80 кВт/м<sup>2</sup> в зависимости от диаметра очага;
- удельная скорость выгорания углеводородных газов: 0,1 кг/(м<sup>2</sup>с);
- метеоусловия: ясно, безветрие.

В табл.10-13 представленны результаты расчетов параметров аварий, связанных с хранением пропан-бутановой смеси в наземных резервуарах.

Таблица 10 – Количественная оценка показателей взрывоопасности пролива из резервуара сжиженного пропан-бутана

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Оборудование
		Резервуар пропан-бутана 4,85 м <sup>3</sup>
Количество паров, принимающих участие в аварии	кг	2144
Общая приведенная масса горючих паров, т	кг	2198,2
R <sub>1</sub>	м	34,1
R <sub>2</sub>	м	41,0
R <sub>3</sub>	м	69,7
R <sub>4</sub>	м	110,8
R <sub>5</sub>	м	247,0

Таблица 11 – Количественная оценка показателей пожара пролива из резервуара с пропан-бутаном

Расстояние от центра пролива, м	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Степень поражения
14,6	10,5	Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1-й степени через 6-8 с Ожог 2-й степени через 12-16 с
19,0	7,0	Непереносимая боль через 20-30 с Ожог 1-й степени через 15-20 с Ожог 2-й степени через 30-40 с
25,5	4,2	Безопасно для человека в брезентовой одежде
44,0	1,4	Без негативных последствий в течение длительного времени

Таблица 12 – Количественная оценка показателей взрыва при образовании «огненного шара»

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Резервуар жидкого топлива
Энергия, выделившаяся при изотропическом расширении топлива при разрушении резервуара	Дж	123280000
Общая приведенная масса горючих паров, т	кг	27,3
R <sub>1</sub>	м	8,0
R <sub>2</sub>	м	9,6
R <sub>3</sub>	м	16,3
R <sub>4</sub>	м	26,0
R <sub>5</sub>	м	58,0

Таблица 13 – Количественная оценка теплового излучения при образовании «огненного шара»

Расстояние до объекта облучения, м	Продолжительность существования «огненного шара», сек	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Доза теплового излучения, кДж/м <sup>2</sup>
R <sub>1</sub> =70,9	9,4	34,0	3,6
R <sub>2</sub> =87,0		23,5	2,5
R <sub>3</sub> =115,4		12,7	1,4

Для расчета последствий возможных аварий, связанных с топливораздаточной колонкой, рассмотрен вариант пролива пропан-бутановой смеси при заправке автомобиля:

Для расчетов параметров взрыва над проливом и пожара пролива пропан-бутана приняты следующие исходные данные: 1) номинальная производительность насоса колонки: 50 литров топлива в минуту; 2) характер нарушения герметичности: разрушение гибкого шланга по всему сечению; 3) объем пролива 0,1 м<sup>3</sup>; 4) характер пролива: свободный; 5) температура окружающего воздуха 20<sup>0</sup>С; 6) длительность испарения: время полного испарения, но не более 3600 с; 7) теплота сгорания пропан-бутана: 46343 кДж/кг; 8) доля приведенной массы газа, участвующей во взрыве: 0,1; 9) средняя поверхностная плотность теплового излучения для сжиженных углеводородных газов от 40 до 80 кВт/м<sup>2</sup> в зависимости от диаметра очага; 10) удельная скорость выгорания углеводородных газов 0,1 кг/(м<sup>2</sup>с); 11) метеоусловия: ясно, безветрие.

В табл.14, 15 представлены результаты расчетов параметров аварий, связанных с топливораздаточной колонкой.

Таблица 14 – Количественная оценка показателей взрывоопасности пролива сжиженного пропан-бутана из газораспределительной колонки АГЗП

Наименование параметра, обозначение	Ед. изм.	Оборудование
		Топливораздаточная колонка (свободный пролив 100 л пропан-бутана)
Количество паров, принимающих участие в аварии	кг	52
Общая приведенная масса горючих паров, т	кг	53,3
R <sub>1</sub>	м	9,9
R <sub>2</sub>	м	12,0
R <sub>3</sub>	м	20,4
R <sub>4</sub>	м	32,5
R <sub>5</sub>	м	72,0

Таблица 15 – Количественная оценка пожара пролива сжиженного пропан-бутана из газораспределительной колонки АГЗП

Расстояние от центра пролива, м	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Степень поражения
13,0	10,7	Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1-й степени через 6-8 с Ожог 2-й степени через 13-16 с
16,7	7,2	Непереносимая боль через 20-30с Ожог 1-й степени через 15-20 с Ожог 2-й степени через 30-40 с
22,6	4,2	Безопасно для человека в брезентовой одежде
39,0	1,4	Без негативных последствий в течение длительного времени

**Выводы.** Анализ данных результатов показывает, что наиболее опасным поражающим фактором является ударная волна, а наиболее опасным источником аварий – автоцистерны и емкости для хранения (вследствие больших объемов хранения). Ударная волна практически 100%-но поражает людей в радиусе до 20 м ( $\Delta P=50$  кПа). Индивидуальный риск, рассчитанный по методике [2], для ударной волны составляет  $1,3 \cdot 10^{-5}$ , для огненного шара –  $4,3 \cdot 10^{-6}$ .

С целью предупреждения описанных выше последствий необходимы мероприятия, направленные на снижение их результатов и риска возникновения аварий на АГЗС. Одним из путей по снижению риска является использование разработанной компанией "Формула Безопасности" (Россия) «Интеллектуальной системы безопасности» (ISS) – комплекса технических средств и программного обеспечения, при создании которого учтены особенности функционирования подобных объектов, обязанности персонала и сотрудников службы безопасности (это: постоянный видео- и аудиоконтроль происходящего во всех зонах территории АГЗС, топливораздаточных колонок, контроль за соблюдением технологического процесса заправки транспортных средств, наблюдение за поведением клиентов и сотрудников, возможность технической реализации безопасности АГЗС независимо от ее масштаба и инфраструктуры).

К мерам, значительно снижающим риск и последствия аварий на АГЗС, относятся: 1) наличие системы раннего выявления чрезвычайных ситуаций и оповещения людей в случае их возникновения; 2) наличие автоматической пожарной сигнализации, системы оповещения о пожаре; 3) установка на оборудовании, работающем под давлением, предохранительных клапанов; 4) оборудование газовых компрессоров блокировочными устройствами, которые автоматически останавливают компрессоры в случае аварийно-опасных нарушений параметров их работы; 5) наличие телефонной связи и системы громкоговорящей связи; 6) наличие системы молниезащиты территории АГЗС, заземляющих устройств оборудования АГЗС и заземляющего контура для автоцистерны-заправщика; 7) обучение и обеспечение обслуживающего персонала необходимой эксплуатационно-технической документацией, проверка знаний персонала и проведение инструктажей по охране труда и противопожарной безопасности в установленные сроки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. – [Чинний від 01.07.1992], (Библиотека ГОСТов). Режим доступу: <http://admin.chem.msu.ru/oottb/norm.html>.
2. Нормы пожарной безопасности "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" НПБ 105-03. – [Чинний від 01.09.2003]. Режим доступу: [www.altsi.ru/docs/npb-105-03-categories-buildings](http://www.altsi.ru/docs/npb-105-03-categories-buildings).
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. НПАОП 0.00-1.41-88. – [Чинний від 06.09.1988]. Режим доступу: <http://dnop.com.ua/dnaop/act4287.htm>.
4. Методика оценки последствий аварий на пожаровзрывоопасных и взрывоопасных объектах / [Методические рекомендации инженерам]. – М.: ВНИИГОЧС, 1994. – 43с.
5. Правила технічної експлуатації і охорони праці на стаціонарних автомобільних газозаправних станціях зріджених вуглеводневих газів. – Офіц. вид. – К.: Держнаглядохоронпраці України, 1996. – 100с. – (Нормативний документ Держнаглядохоронпраці України Держнаглядохоронпраці України. Правила).

Днепродзержинский государственный технический университет

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ И АВАРИЙ НА ТРУБОПРОВОДАХ ГАЗООБРАЗНОГО КИСЛОРОДА

**Введение.** В последние годы отмечен рост чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера, связанных с авариями на промышленных производствах. По-прежнему высока аварийность на предприятиях химической, нефтехимической и смежных отраслях промышленности. На долю аварий на промышленных предприятиях с выбросом химически опасных веществ приходится в среднем от 8 до 13% от общего количества техногенных аварий. Несмотря на снижение общего числа техногенных ЧС, число аварий и катастроф с негативными экологическими последствиями увеличилось.

Наиболее распространенными ЧС и экологически опасными явились аварии на магистральных трубопроводах промышленных объектов. Далее по величине ущерба, нанесенного окружающей природной среде, следуют аварии на канализационных системах и очистных сооружениях, внезапные выбросы ядовитых веществ, крушения, аварии, сходы грузовых поездов.

Наибольшее количество аварий с негативными экологическими последствиями произошло на непромышленных объектах (28%), транспорте (20%), аварии на промышленных объектах составили 12%.

С другой стороны, по данным анализа причин аварий ряда промышленных производств и характеристик развития аварийных ситуаций выявлено, что в результате аварий, связанных со взрывами и возгораниями паровых облаков, являются неизвестными ряд параметров: масса паровых облаков – в 51% случаев возникновения аварий; реакционная способность – в 18% случаев; источник возгорания – в 66%; перемещение воздушного облака – в 48%; место утечки – в 51%; время – в 67%; эффект домино – в 50% случаев [1].

Наибольшее количество аварий связано с технологическими трубопроводами – 31,2%. Высока также аварийность технологического оборудования, расположенного на открытых производственных площадках. Основными причинами возникновения аварий, связанных с технологическим оборудованием, расположенным на открытых производственных площадках, являются: разгерметизация и утечки или выбросы опасных химических веществ и продуктов через сальники, прокладки – 30,2%, нарушение режима эксплуатации технологической линии – 16,9%. Разветвленная сеть технологических коммуникаций, высокая плотность насыщения технологическими аппаратами, высокое энерго содержание установок позволяют сделать вывод о том, что последствия возможных аварий на открытых промплощадках химических производств будут более тяжелыми, чем в закрытых производственных зданиях [2].

**Постановка задачи.** При транспортировке газообразного кислорода существует опасность разгерметизации кислородопровода или выхода из строя прокладочных материалов, фланцевых соединений.

Основными причинами роста аварий на трубопроводах с газообразным кислородом являются: неудовлетворительное техническое состояние оборудования (47%), неудовлетворительная организация и проведение опасных видов работ (13%), нарушения технологической дисциплины (21%), нарушения при пуске установок после ремонта и длительного простоя (5%), неработоспособность средств автоматики и приборного обеспечения (5%), нарушения производственной дисциплины (7%). При транспорти-

ровке, хранении, работе с кислородом (жидким, газообразным) возможны взрывы, приводящие иногда к полному разрушению оборудования и к серьезным травмам персонала. Поэтому работы, направленные на обеспечение взрывобезопасности, являются весьма актуальными.

Кислород газообразный – газ без запаха и цвета, не пожаровзрывоопасен, не горюч, но является сильным окислителем, интенсивно поддерживает горение. Может способствовать воспламенению горючих материалов (дерева, бумаги, масла и т.д.), в смеси с парами топлива может взрываться. Допустимая объемная доля кислорода в воздухе окружающей среды, не способствующая возгоранию одежды и оборудования, не более 23%. Опасности для живых организмов кислород газообразный не представляет. В табл.1 приведены основные физико-химические характеристики кислорода  $O_2$ .

Таблица 1 – Основные физико-химические характеристики кислорода  $O_2$  [3]

<i>Основные физико-химические характеристики</i>	<i>Значение, ед. измерения</i>
Молекулярная масса	31,998 г/моль
Плотность газа при 0°C и 101 Па	1,42897 кг/м <sup>3</sup>
Плотность жидкого кислорода при –182,98°C	1132 кг/м <sup>3</sup>
Объем, занимаемый газом, при испарении 1 дм <sup>3</sup> жидкости	792 дм <sup>3</sup>
Теплоемкость	0,651 кДж/(кг×К)
Теплота испарения при температуре кипения	213,5 кДж/кг
Критическая температура	154,16 К (–118,84°C)
Критическое давление	4,971 МПа (49,71 кгс/см <sup>2</sup> )
Температура кипения при 101 Па	90,02 К (–182,98°C)
Температура затвердевания	54,3 К (–218,7°C)

Физиологическое влияние кислорода на организм человека следующее. Он нетоксичен. Длительная ингаляция газообразного кислорода при нормальном давлении вызывает поражение органов дыхания и легких; при повышенном давлении вызывает поражение центральной нервной системы (ЦНС).

Сила токсического воздействия кислорода на организм человека зависит от концентрации, давления, длительности вдыхания и от индивидуальной чувствительности.

Низкая температура повышает выносливость к воздействию кислорода. Физическая работа усиливает, повышает и ускоряет токсические проявления, так же как и высокое содержание  $CO_2$  в воздухе.

Нормальное состояние человека и его работоспособность сохраняются в интервале изменения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе от 10,66 до 56,66 кПа. При нормальном атмосферном давлении (0,098 МПа) с учетом нормального давления водяных паров (6,27 кПа) и диоксида углерода в легких (5,33 кПа) интервал объемной доли кислорода составляет 16,8÷50,5%. Поэтому, если во вдыхаемом воздухе содержание кислорода уменьшится ниже 16,8%, то возникает опасная ситуация, которая в зависимости от ее продолжительности и индивидуальных особенностей может привести к головокружению или даже к потере сознания.

Понижение концентрации кислорода до 14÷15% вызывает у человека потерю рассудка и сознания. При уменьшении содержания кислорода до 10% и ниже наступают судороги и возможна смерть.

Длительное нахождение человека при концентрации кислорода более 50,0% приводит к кислородному отравлению, которое может отрицательно сказываться на ор-

ганах дихання и ЦНС. При високих содержаниях кислорода возможен ожог легких, а при длительном вдыхании чистого кислорода возможен отек легких, повышение кровяного давления.

**Результаты работы.** Чистый кислород и его смеси с воздухом не являются токсичными и не способны к самопроизвольному горению или взрыву. Однако кислород является очень активным окислителем и в контакте с большинством веществ и материалов образует горючие системы повышенной взрыво- и пожароопасности.

Утечки и выбросы кислорода на открытом воздухе не представляют опасности ввиду рассеивания облака под воздействием ветра. Утечки и выбросы кислорода, происходящие в помещении, могут привести к возгораниям и взрывам. Основными параметрами, характеризующими взрывоопасность среды, являются: температура вспышки; область воспламенения; скорость распространения пламени; минимальное взрывоопасное содержание кислорода; минимальная энергия зажигания; чувствительность к механическому воздействию (удару и трению).

Основными параметрами, характеризующими опасность взрыва на кислородопроводе, являются: давление на фронте ударной волны; максимальное давление взрыва; средняя и максимальная скорость нарастания давления при взрыве; дробящие или физические свойства взрывоопасной среды.

Опасными и вредными факторами, воздействующими на людей в результате взрыва, являются: ударная волна, на фронте которой давление превышает допустимое значение; пламя и пожар; обрушение оборудования, коммуникаций, конструкций зданий и сооружений и образование осколков; образование при взрыве и выход из поврежденных аппаратов вредных веществ в количестве, превышающем ПДК.

Предотвращение образования взрывоопасной среды и обеспечение в воздухе производственных помещений содержания взрывоопасных веществ, не превышающего нижнего концентрационного предела воспламенения, должно быть достигнуто за счет контроля состава воздушной среды, применения герметичного производственного оборудования, применения рабочей и аварийной вентиляции.

Предотвращение возникновения источников инициирования взрыва обеспечивается:

- регламентацией огневых работ;
- применением материалов, не образующих при ударе искр;
- применением средств защиты от атмосферного и статического электричества;
- применением взрывозащищенного электрооборудования.

В промышленности накоплен большой практический материал по имевшимся случаям загораний и взрывов, а также мерам борьбы с ними при получении, хранении и использовании кислорода [4, 5].

Поджигание материалов в кислороде происходит при воздействии источников, энергия которых в десятки раз меньше энергий, необходимых для поджигания материалов на воздухе. Источниками, приводящими к загоранию, являются открытый огонь, курение, неисправная электропроводка, электрические разряды, статическое электричество, трение, гидроудары и газовые удары при резком открытии вентилей.

Многие материалы, которые вообще не способны к горению на воздухе, в чистом кислороде способны к самоподдерживающемуся горению. Например, в кислороде способны гореть листовая сталь, стальные трубы, тонкие элементы из нержавеющей стали и других металлов.

Большое количество энергии, выделяющейся при горении металлов, является основной причиной серьезных последствий, возникающих при кислородных загораниях.

Скорость горения веществ и материалов в кислороде в 10-100 раз выше, чем на воздухе. Особенно велики скорости горения органических соединений.



При пропитке кислородом ряда пористых материалов (асфальта, пенополистирола, дерева и др.) образуются взрывчатые вещества – оксидквиты, которые по чувствительности и мощности взрыва превосходят штатные взрывчатые вещества. В жидком кислороде способны детонировать некоторые порошки металлов, а также пленки масел и органических соединений.

В процессах воспламенения материалов в среде кислорода решающую роль обычно играют загрязняющие вещества, например масла, находящиеся на поверхности конструктивных элементов и имеющие значительно меньшую энергию зажигания. Эти вещества воспламеняются в первую очередь и затем могут инициировать зажигание металла.

Животные и минеральные масла, соприкасаясь с кислородом, находящимся под давлением более 3 МПа, мгновенно окисляются с выделением тепла. Это тепло способствует воспламенению масла или жира. Кислород усиливает процесс горения, что при определенных условиях может привести к взрыву. Кислород интенсивно поглощается пористыми веществами (уголь, сажа, торф, вата, ткань одежды и др.). Для воспламенения их в присутствии кислорода достаточно малейшей искры. В замкнутом пространстве воспламенение пористых веществ, пропитанных жидким кислородом, сопровождается взрывом большой разрушительной силы [6].

Известно очень много загораний, причиной которых была либо несовместимость использованных материалов с кислородом, либо накопление в изделии загрязняющих веществ.

Возможность загорания материалов в контакте с кислородом резко возрастает при повышении давления и температуры, причем загорание одних материалов может инициировать загорание других. Наиболее опасным является загорание материалов в том случае, если при этом имеются условия для самоподдерживающегося горения, которое продолжается до тех пор, пока не выгорит весь материал или не изменится в определенной степени условия горения (снизится давление, уменьшится концентрация кислорода).

Работа на трубопроводах с жидким кислородом сопряжена со следующими опасностями:

- обогащение воздуха кислородом при утечках газообразного кислорода;
- накопление органических веществ и других загрязнений (сварочного шлака, прокатной окалины, порошка железа) в кислородных коммуникациях при длительной эксплуатации, повышающие опасность возгорания;
- возгорание одежды и волосяных покровов обслуживающего персонала, находившегося в среде газообразного кислорода или воздуха с повышенным содержанием кислорода.

Таким образом, проблема исключения пожаров и взрывов в таких системах может быть полностью решена только в тех случаях, когда горючие вещества присутствуют в количествах, при которых исключается распространение горения.

Поэтому при проектировании и эксплуатации кислородопроводов первостепенное внимание следует уделять подбору материалов и исключению возможности соприкосновения с кислородом случайных предметов и материалов.

Данные обстоятельства выдвигают требования разработки эффективных методов анализа и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных промышленных объектах, прогнозирования и оценки тяжести их последствий с целью повышения безопасности промышленных производств.

Производственные помещения, как правило, загромождены оборудованием, коммуникациями, перегородками, различными строительными устройствами, являющимися препятствиями, способствующими турбулизации потоков горящих смесей,

многократному отражению ударных волн и их усилению. Скорости нарастания давления в этих случаях достигают высоких значений, при которых сброс давления через специально предусмотренные ослабленные элементы, окна и двери уже невозможен, что приводит к разрушению крыши и стен здания. Разрушающая способность взрывов парогазовых смесей существенно зависит от формы и размеров замкнутых объемов помещений, аппаратуры, трубопроводов и т.д.

Утечки и выбросы кислорода могут происходить в случае нарушения герметичности или разрушения трубопроводов, а также оборудования, содержащего кислород. Схема построения сценария возникновения и развития аварии при нарушении герметичности трубопроводов кислорода представлена на рис. 1.

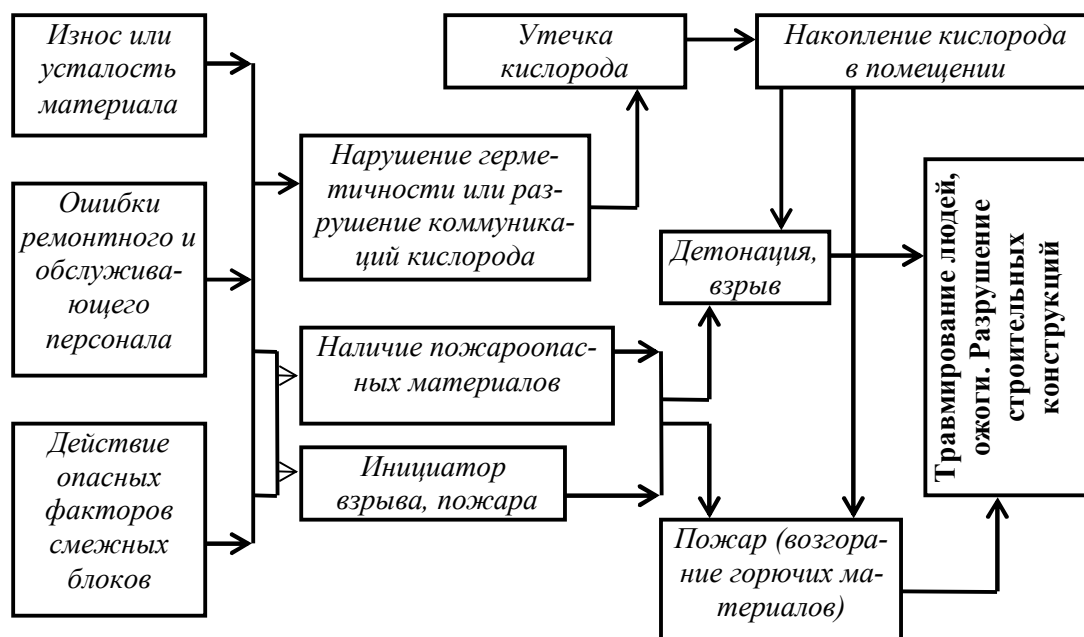


Рисунок 1 – Сценарий возникновения и развития аварии при нарушении герметичности трубопроводов с кислородом

Нарушения герметичности или разрушения трубопровода могут происходить в случае нарушений: герметичности фланцевых соединений трубопроводов и трубопроводной арматуры; герметичности уплотнений трубопроводной арматуры; целостности сварных швов; целостности тела трубы или трубопроводной арматуры.

Нарушения герметичности фланцевых соединений трубопроводов и трубопроводной арматуры.

Наиболее вероятным и распространенным вариантом нарушения герметичности фланцевых соединений является отсутствие герметичности между поверхностями прокладки и фланца. Такие нарушения герметичности не представляют опасности на открытой площадке.

Большую опасность представляет так называемое «выдавливание» прокладки, то есть утечка образуется в результате нарушения целостности прокладки и выброса сегмента прокладки из фланцевого соединения. Такая ситуация возможна для фланцевых соединений трубопроводов и арматуры с дефектной прокладкой.

Нарушения герметичности уплотнений трубопроводной арматуры не приведут к значительным утечкам кислорода, благодаря рассеиванию газа. Такие утечки опасны попаданием персонала в струю истекающего газа.

Нарушение целостности сварных швов может быть незначительным (точечным или в виде небольшой трещины), так называемые «свищи», и, напротив, с полным или частичным разрушением (растрескиванием) сварного шва. «Свищи» не приводят к значительным утечкам газа.

Разрушения сварных швов обусловлены наличием внутренних напряжений в неправильно выполненном сварном шве и, как правило, случаются во время изменения температуры газопроводов. Разрушения сварных швов опасны интенсивной утечкой газа.

Нарушение целостности тела трубы или трубопроводной арматуры возможно в результате коррозионного или усталостного износа металла, а также в случае некачественного изготовления. Степень нарушения целостности может быть как незначительной, так и весьма значительной и опасной образованием загазованной зоны в районе утечки.

Разрушение трубопроводов кислорода возможно в результате внешнего механического воздействия во время проведения ремонтных или погрузочно-разгрузочных работ, в результате аварии транспортного характера (транспортирование негабаритного груза или проезда спецтехники), а также аварий на смежных производствах.

В случае нарушения герметичности трубопроводов и оборудования, в которых находится кислород, в помещении может произойти выброс и накопление газообразного кислорода. При контакте кислорода с горючими материалами (ветошью, материалами теплоизоляции, смазочными материалами), а также поглощении газообразного кислорода пористыми материалами возможно их воспламенение и детонация.

Возникновение инициатора пожара или взрыва может произойти по следующим причинам: нарушение правил пожарной безопасности; выполнение ремонтных работ искрообразующим инструментом; наличие искр от неисправного электрооборудования; проведение огневых работ без специального разрешения.

**Выводы.** Таким образом, при современном состоянии промышленности, когда большая часть оборудования и трубопроводов на потенциально опасных технологических установках выработала гарантийный запроектированный ресурс, необходимы не субъективные заключения о возможности возникновения аварии, а точные знания технического состояния и работоспособности соответствующих элементов систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

6. Безпека життєдіяльності у повсякденних умовах виробництва, побуту та у надзвичайних ситуаціях: навч. посібник / [Захарченко М.В., Орлов М.В., Голубєв А.К. та ін.]. – К.: ІЗМИ, 1996. – 196 с.
7. Файнхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф.Файнхельт, П.Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 157с.
8. Мельник Б.Д. Инженерный справочник по технологии неорганических веществ / МельникБД. – М.: Химия, 1975. – 533с.
9. Бесчастнов М.В. Аварии в химических производствах и меры их предупреждения / Бесчастнов М.В., Соколов В.М., Кац М.И. – М.: Химия, 1991. – 368с.
10. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / Бесчастнов М.В. – М.: Химия, 1991. – 432с.

\*Дніпродзержинський енергетичний технікум  
Дніпродзержинський державний технічний університет

## **ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ, ОРОГІДРОГРАФІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬК (ПРАВОБЕРЕЖЖЯ)**

**Вступ.** Дніпродзержинськ — типовий приклад міста, для якого характерний активний процес самопідтоплення. Цей процес виникає і розвивається внаслідок порушення природної динамічної рівноваги у водному балансі території. Протягом останніх років підтоплення багатьох районів міста носить стійкий характер. Дане явище обумовлене порушенням історично складеного водного балансу у зв'язку з інженерною діяльністю людини.

Причини виникнення небезпечних інженерно-геологічних процесів можуть бути як природні, так і техногенні.

До природних причин можна віднести:

- порушення природного стоку зливових і талих вод, які затримуються будівлями та спорудами;
- проект забудови території без урахування зсувного характеру терасового схилу, внаслідок чого первинна забудова була здійснена без випереджуючого проведення протизсувних заходів;

До техногенних причин можна віднести:

- інтенсивні витoki з водонесучих комунікацій (водопровід, каналізація, тепломережа);
- втрати промислових вод;
- надзвичайно слабкий розвиток зливної каналізації у місті;
- скорочення площі відкритої поверхні на забудованих територіях, що викликає перерозподіл водяних парів у ґрунтах і зменшення величини випаровування під асфальтованими і бетонними покриттями, будівлями та спорудами.

**Постановка задачі.** Вивчення та аналіз взаємозв'язку геологічної будови, орогідрографії та екологічних природних процесів на території міста Дніпродзержинськ (правобережжя).

**Результати роботи.** В геолого-структурному відношенні територія м. Дніпродзержинська відноситься до крайової частини Українського кристалічного щита. Тривалість та складність геологічної історії цього регіону обумовили значну неоднорідність його геологічної будови.

В докембрії (більш 600 млн. р. тому) завершився період геосинклінального розвитку Українського щита, для якого були характерні складкоутворення, магматизм, метаморфізм.

До початку палеозою кристалічний фундамент складався з осадочно-метаморфічних утворень архео-протерозою та осадочних магматичних інтрузій.

В історії розвитку регіону наступив платформений етап, характерною особливістю якого стали блокові рухи по зонах розлому, частина з яких була закладена ще в докембрії. Одною з таких, довго існуючих структур, є зона Дніпродзержинського глибинного розлому.

В палеозої-мезозої (від 600 до 67 млн. р. тому) територія міста знаходилась в континентальних умовах, де переважали слабкі тектонічні рухи, які дали поштовх до утворення суші.

В результаті атмосферного впливу на поверхні кристалічних порід протягом сотні мільйонів років утворилася потужна кора вивітрювання.

До початку кайнозойської ери по серії зон розривних порушень була створена долинна мережа, яка розчленила поверхню щита на ряд вододільних просторів.

В еоценову епоху (сучасний час, біля 50 млн. р. тому) в палеодолинах відбулися відкладення алювіальних та озерних піщано-глинистих осадків.

Крупна палеодолина субмеридіального напрямку, яка має назву Карнаухівська, розташована поблизу східної межі території ВАТ «ДніпроАзот». Менш крупна долина північно-східного напрямку розташована у північно-західному напрямку від Водяної балки.

Нижньоеоценові відкладення – найбільш древніші із осадочних утворень. Вони вкриті свердловинами у північному, західному та східному напрямках від території підприємства. Їх збереженість від розмиву пояснюється початком опускання ділянки щита.

З початком неогенового періоду (25 млн. р. тому) територія швидко опускається та покривається мілководними басейнами, в яких відбувається накопичення піску. Ці піски розповсюджені в межах вододілу плато та його схилів, перекриваючи породи кристалічного фундаменту як кору вивітрювання. В пліоцені відбувається перебудова структурного плану території. Утворюються нові зони розломів та закладається сучасна гідромережа, у тому числі річка Дніпро, Ясинова та Водяна балки.

Початок четвертинного періоду характеризується зміною кліматичних умов. Ритмічна будова четвертинного покриву відображає коливання клімату протягом четвертинного періоду при тенденції до похолодання.

Нижньочетвертинні відклади вивчені досить слабо у порівнянні із середньо- та верхньочетвертинними. Тому за характеристиками слід виділити тільки два горизонти.

На початку середньочетвертинної епохи настає максимальне Дніпровське зледеніння. Прийнято вважати, що льодовиковий язик розповсюджується по долині річки Дніпро до міста Дніпропетровськ. З рухом льодовика були пов'язані тектонічні рухи блоків земної кори.

Недостатня оголеність порід не дозволяє визначити подробиці тектоніки Українського щита.

Як і будь-яка геосинклінальна рухома зона, Український щит пройшов етап накопичення терригено-вулканогенних відкладів, етап складчастості та інтрузій магми, етап розломів та жильного внедріння.

В геоморфологічному відношенні правобережна частина міста розташована на заплаві та надзаплавних терасах р. Дніпра, а також на лесовій вододільній рівнині та її схилах на північно-східній околиці Дніпровсько-Бугського вододілу, який геоструктурно відноситься до Українського щита.

Заплава шириною до 300-500 м має відносно рівну поверхню з відмітками 51,0-55,0 м. Південніше розташована IV надзаплавна тераса р. Дніпра з відмітками поверхні від 55,0 до 145,0 м. Південна частина правобережжя виходить на лесову вододільну рівнину з відмітками 145,0-175,0 м. Схили рівнини і терас сильно розчленовані ярами та балками, переважно меридіонального напрямку з стрімкими схилами висотою 20-40 м. Борти балок порівняно пологі, задерновані, подекуди вкриті лісом.

В межах міста розташоване Дніпродзержинське водосховище, правий берег якого високий (10,0-25,0 м), крутий, місцями стрімкий, густо порізаний ярами та балками. Температура води у теплу пору року 18-22,8 С. Тривалість льодоставу близько 77 днів, середня товщина криги 17-33 см.

Зональний тип ґрунтів правобережжя – чорноземи звичайні малогумусні, належать до ґрунтів хорошої родючості, мають виняткове сільськогосподарське значення і вилученню для інших потреб не підлягають.

Правобережжя Дніпра в районі міста характеризується ступінчастим рельєфом, який утворений його терасами.

Основними геоморфологічними елементами правобережжя є: заплава річки Дніпро, чотири надзаплавні тераси, водороздільне плато та його схили, балки та яри.

В геоструктурному відношенні правобережжя м. Дніпродзержинськ розташоване у крайовій зоні Українського щита на межі з Дніпровсько-Донецькою западиною.

В геологічній будові правобережжя беруть участь докембрійські кристалічні породи (AR + PR), відклади палеогену (P), неогену (N) та четвертинної системи (Q).

Відклади неогену повсюдно перекриті породами сучасного, верхнього, середнього та нижнього відділів четвертинної системи, що складають долину р. Дніпра, вододіл та його схили.

Потужність четвертинного покриву дуже непостійна. Вона залежить від геоморфологічної будови території і коливається від 1,0 до 60,0 м.

За генезисом четвертинні відклади поділяються на еолові, алювіальні, делювіальні, гляціальні, флювіогляціальні (водно-льодовикові) і гляціально-лімнічні (озерно-льодовикові).

За літологічними ознаками і геоморфологічними особливостями території в них виділені нижній, середній і верхній, нерозчленовані верхній і сучасні відділи.

Нижньочетвертинні відклади представлені елювіальними, еолово-делювіальними, червоно- і важкими жовто-бурими суглинками. Потужність суглинків – 2,0-12,0 м.

У межах IV надзаплавної тераси Дніпра низи алювію складені древньо-алювіальними й озерно-алювіальними пісками і пісковиками, що залягають на палеогеновому підґрунті і перекриті льодовиковими утвореннями. Потужність їх 25,0-30,0 м.

Середньочетвертинні породи представлені еолово-делювіальними, водно-льодовиковими, льодовиковими й алювіальними відкладами.

Еолово-делювіальні відкладення представлені лесовидними суглинками. Зустрінуті вони на IV надзаплавній терасі річки Дніпро, а у позальодовиковій зоні – на еродованому плато в покрівлі нижньочетвертинних червоно-бурих суглинків. Потужність від 5,0-6,0 м до 18,0-24,0 м на плато.

Середньо- і верхньочетвертинні нерозчленовані відклади представлені еолово-делювіальними, лесовидними супісками і суглинками із прошарками похованих ґрунтів, розвитими у вигляді суцільного покриву у позальодовиковій зоні на плато і його схилах. Потужність досягає 36,0 м.

Верхньочетвертинні відклади представлені:

➤ еолово-делювіальними, лесовидними супісками і суглинками, які розвинуті в льодовиковій зоні на моренних і водно-льодовикових відкладах, а також на алювіальних. Потужність відкладень складає в середньому 3,0-6,0 м, досягаючи 17,0 м;

➤ алювіальними пісками з прошарками супісків, що складають II і III надзаплавні тераси.

Сучасні відклади представлені наступними літолого-генетичними комплексами осадових порід:

• еолові-перевіяні пилюваті піски, розповсюджені на заплаві і в надзаплавних терасах і формують еолові форми рельєфу у вигляді дюн, бугрів, кучугур.

Потужність 8,0-12,0 м;

- алювіальні відклади – піски дрібнозернисті розвинуті в межах річкових заплавл. Потужність 20,0-30,0 м, рідше 50,0 м;
- алювіально-делювіальні суглинки і супіски, рідше піски, що складають днища балок. Потужність 8,0 м;
- озерно-болотні-мулисті, часто заторфовані суглинки і супіски, мул, болотні мергелі. Поширені на заплавах, I і II надзаплавних терасах ріки Дніпро і її притоків. Потужність до 4,0-5,0 м.

Всі охарактеризовані вище ґрунти за своєю структурою являються пористими. Кількість та об'єм пор залежить від розміру часток, які складають ґрунт, але всі ці ґрунти мають досить велику водомісткість. Знаючи дію води на зв'язок між частинками ґрунтів, можна зробити висновок, що всі фізико-геологічні процеси (характеристика їх надана нижче) залежать від кількості води.

Високий рівень ґрунтових вод, підтоплення та самопідтоплення великих ділянок в межах селітебної зони міста Дніпродзержинськ, які викликають змочування порід, що залягають в основі фундаменту, просадкові деформації споруджень та будівель, зсуви, обвали та інші фізико-геологічні явища, ступінь інтенсивності яких знаходиться в прямій залежності від геологічної будови, гіпсометричного розташування об'єктів, гідро-геологічних умов та техногенних факторів.

В нижній зоні підтоплення, яка розташована в долині річки Дніпро та по площі першої надзаплавної тераси, де основою фундаменту слугують водонасичені зернисті породи, відбувається рівномірна просадка будівель. Затоплюються підвали, льохи, підземні комунікації. Ґрунтові води місцями виходять на поверхню, утворюючи в пониженнях рельєфу заболочування.

В межах верхньої зони підтоплення та в районах високого рівня ґрунтових вод, які приурочені до високих терас річки Дніпро, вододілу та його схилів, що представлені переважно лесовими породами, які проявляють просадкові властивості, в результаті прямого підтоплення або змочування основ за рахунок капілярного підняття та витоків з водонесучих комунікацій, відбуваються просадкові деформації споруд.

На схилах балок та ярів в результаті недостатнього вивчення природних умов та ступеню обводненості лесовидних порід, які складають схили, активізуються зсувні процеси, які призводять до деформації комунікацій, будівель, споруд.

Головними джерелами підтоплення території міста є ґрунтові води, які приурочені до відкладів заплави, першої надзаплавної тераси та лесовидних відкладів високих терас, вододілу плато та його схилів.

Ґрунтові води цих водоносних горизонтів утворюють єдиний безнапірний водонесний горизонт, який має повсюдне розповсюдження та постійно знаходиться під впливом природних та штучних режимоутворюючих факторів.

Глибини залягання ґрунтових вод на території міста в залежності від рельєфу та ступеню впливу факторів знаходяться в широких межах від 0,0 до 34 м.

При цьому за умовами підтоплення та глибини залягання рівня ґрунтових вод територія правобережної частини міста Дніпродзержинськ поділяється на три зони:

- зона підтоплення від 0,0 до 3,0 м;
- зона високого рівня ґрунтових вод від 3,0 до 5,0-7,0 м;
- зона відносно глибокого залягання ґрунтових вод вище 7,0 м.

Головними причинами порушення водного балансу на території міста є:

- інтенсивні витоків з водонесучих комунікацій селітебної зони та втрата води на фільтрацію промисловими підприємствами міста, особливо з мокрим технологічним процесом;
- порушення підземного стоку в результаті засипки балок, ярів, постійно діючих водотоків;

- порушення природного стоку поверхневих, ливневих та талих вод будівлями та спорудами, які трапляються на шляху руху поверхневих водотоків, що призводить до накопичення останніх в пониженнях рельєфу, збільшуючи інфільтрацію, тим самим викликаючи додатковий підйом рівня ґрунтових вод;

- інтенсивне будівництво та благоустрій території шляхом створення асфальтобетонного покриття, що призводить до різкого скорочення відкритих ділянок на забудованих територіях, перерозподілу водяних парів в ґрунтах, зменшення питомої ваги процесів випаровування та сприяє утворенню додаткових запасів вологи в ґрунтах.

Найбільш небезпечними фізико-геологічними процесами в межах селітебної зони є діючий зсув на правому східному схилі правого відвершку яру балка Шамишина.

Правий зсувний схил яру Шамишина балка штучно терасирований та забудований п'ятиповерховими житловими будинками, між якими проасфальтовано шляхи.

Ґрунти, які залягають в основі фундаментів, представлені лесовидними породами, які знаходяться в розущільненому стані, консистенція яких в залежності від ступеню змочування змінюється від твердої, напівтвердої до м'якопластичної.

Підземні води, які приурочені до лесовидних відкладів представляють безнапірний водоносний горизонт, водоупором якого є неогенові глини.

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та витоку води з водонесучих комунікацій, дренуються підземні води тальвегом балки.

Глибина залягання підземних вод в залежності від гіпсометричного положення та ступеню обводненості різних ділянок коливається в межах 1,20-18,7 м. Середня швидкість підйому рівня ґрунтових вод за останні роки 0,2-0,5 м/рік. Порушення стійкості будівель на зсувному схилі балки виражаються в просадці фундаменту, появі тріщин на стінах, поривах водо- та теплонесучих комунікацій, горизонтальних панельних зміщеннях окремих секцій житлових будинків.

Основними причинами появи сучасних зсувів є:

- порушення герметичності з'єднань та порив зовнішніх водонесучих комунікацій при первинних подвижках зсувних мас, які визивають водонасичення лесовидних порід, що складають схили;

- повторні витoki води з водонесучих комунікацій селітебної зони в процесі експлуатації, які викликали інтенсивний підйом рівня та зниження міцнісних характеристик ґрунтів;

- перенавантаження схилів житловими будинками та їх непослідовний підріз в процесі будівництва гаражів, погребів та під'їзних шляхів.

Також в місті Дніпродзержинськ інтенсивно розвиваються просадкові деформації, причиною утворення яких є змочування лесовидних порід, які складають основу фундаменту в результаті підтоплення міста ґрунтовими водами, що залягають на глибині до 3,0 м.

Основними проявами просадкових деформацій та інших негативних фізико-геологічних явищ є: розтріскування стін та внутрішніх перегородок, перекося дверних коробок, просадка підлоги, вхідних сходів під'їзду, зволоження льохів цокольних поверхів житлових будівельних поверхів.

Основними причинами підтоплення та високого рівня ґрунтових вод, утворення зсувних явищ, просадкових деформацій та інших негативних фізико-геологічних є:

- постійні інтенсивні витoki води з водонесучих комунікацій на території промислових підприємств;

- слабо розвинута мережа ливневої каналізації та незадовільна організація поверхневого стоку



- неконтрольовані витрати з міського водопроводу на полив зелених насаджень та присадибних ділянок в приватному секторі, що сприяють додатковому живленню ґрунтових вод за рахунок інфільтрації;
- особливості рельєфу та літологічного складу четвертинних відкладень.

#### Висновки.

1. Територія м. Дніпродзержинська відноситься до крайової частини Українського кристалічного щита.
2. Правобережна частина міста розташована на заплаві та надзаплавних терасах р. Дніпра, а також на лесовій вододільній рівнині та її схилах на північно-східній околиці Дніпровсько-Бугського вододілу.
3. В геологічній будові правобережжя беруть участь докембрійські кристалічні породи (AR + PR), відклади палеогену (P), неогену (N) та четвертинної системи (Q).
4. Підтоплення території міста здійснюється ґрунтовими водами, які приуроченні до відкладів заплави, першої надзаплавної тераси та лесовидних відкладів високих терас, вододілу плато та його схилів.
5. Небезпечні фізико-геологічні процеси проявляються в межах селітебної зони в районі діючого зсуву на правому східному схилі правого відвершку яру балка Шамшина.
6. Місто Дніпродзержинськ можна віднести до міст України з найнебезпечнішою геоекологічною ситуацією, що сформувалася в результаті тривалого та інтенсивного розвитку інженерно-геологічних процесів без урахування екологічних наслідків та шкоди для довкілля і здоров'я населення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов С.С. Геология СССР / Кузнецов С.С. // М.: Госгеолтехиздат. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1960. – 158с.
2. Сергеев Е.М. Инженерная геология / Сергеев Е.М. // М.: Изд-во Московского Университета, 1978. – 384с.
3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология / Ломтадзе В.Д. // Л.: Недра, 1978. – 496с.
4. І.М.Барг Нариси геологічної історії Дніпропетровщини / І.М.Барг // ТзОВ «Альфа» - НМОП, 1997. –148с.

УДК 622.814

ГОЛИНЬКО В.И., д.т.н., професор  
ЛЕБЕДЕВ Я.Я., к.т.н., доцент  
НОВИКОВА Е.А., аспірантка

Национальный горный университет, г. Днепропетровск

### ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ ПО ДЛИНЕ КОНВЕЙЕРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**Введение.** Одним из основных факторов, обуславливающих пылевзрывоопасность горных выработках, является пылеотложение. Особенно значительное пылеотложение наблюдается в конвейерных выработках [1]. Это связано с тем, что конвейерные выработки в связи с загромождением их конвейером имеют большую площадь соприкосновения с пылью при ее распространении с воздушным потоком по длине выработки, а следова-

тельно, и процессы адгезии в конвейерной выработке происходят более интенсивно. Кроме того, отложение угольной пыли по длине конвейерной линии происходит по всей поверхности выработки за счет осаждения пыли из проходящего воздуха под роликами холостой ветви, на роликоопорах, на предохранительных полках, а также на почве выработки за счет просыпания транспортируемого угля. Полное пылеотложение в конвейерных выработках, оборудованных скребковыми конвейерами, достигает  $1500 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ , ленточными –  $8000 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$  и более [2]. Потери угля по длине конвейерных выработок зависят от состояния конвейерных линий, нарушений режима эксплуатации конвейерных установок, качества стыковки секций скребковых конвейеров и достигают в отдельных случаях 3% от общего количества транспортируемого угля. Известно также, что в горные выработки угольной шахты поступает 40% метана за счет газовыделений из отбитого угля, транспортируемого от очистного забоя до поверхности. В связи с этим в реальных условиях в атмосфере горных выработок угольных шахт, как правило, образуются тройные смеси (угольная пыль + метан + воздух) с тем или иным соотношением горючих компонентов. Главной особенностью тройных смесей является то, что взятые в отдельности невзрывчатые концентрации метана и угольной пыли в смеси с воздухом приобретают взрывчатые свойства. Присутствие метана даже в небольших количествах заметно снижает нижний предел взрываемости угольной пыли [3]. В связи с указанным выше исследование изменения концентрации пыли и дисперсного состава по длине конвейерной выработки в угольных шахтах весьма актуально.

**Постановка задачи.** Целью настоящей публикации являются анализ состояния исследований в области пылединамики в горных выработках шахт и рудников, а также разработка методов расчета концентрации и дисперсного состава рудничных аэрозолей по длине и высоте конвейерных выработок с учетом гравитационного и инерционного осаждения частиц пыли.

По мере движения запыленного воздуха по конвейерным выработкам происходит снижение его концентрации и изменение дисперсного состава пыли. Основными процессами, оказывающими влияние на концентрацию и дисперсный состав пыли, являются инерционное и гравитационное осаждение частиц, а также их диффузия. Диффузионные процессы играют существенную роль только для частиц с размерами  $\delta < 1 \text{ мкм}$  и при анализе процессов изменения дисперсного состава рудничных аэрозолей могут не учитываться, так как доля указанной фракции в общей массе пыли даже на исходящих вентиляционных струях шахт не превышает 4%. Гравитационное осаждение частиц играет существенную роль в процессе осаждения пыли для производственных помещений и выработок с малой скоростью движения воздуха (например, камер большего объема и подготовительных выработок). Характерный признак преимущественного гравитационного осаждения – интенсивное накопление пыли на горизонтальных и наклонных поверхностях и незначительное накопление на вертикальных поверхностях конвейерного става, а также кровле конвейерных выработок. Для остальных выработок наиболее характерным является инерционное осаждение пыли. Исходя из экспериментальных исследований, авторами работ [4, 5] предложены эмпирические формулы для расчета концентрации по длине выработок. Однако эти выражения не являются универсальными, требуют экспериментального определения коэффициентов в выражении и не дают оценки изменения дисперсного состава пыли. Вопрос изменения дисперсного состава пыли при движении воздуха в выработках под воздействием гравитационных сил рассмотрен в работе [6]. Однако полученные выражения и порядок расчета настолько сложны, что результаты не представляют практического интереса.

**Результаты работы.** Осаждение частиц монодисперсной пыли из турбулентного потока в круглом гладком трубопроводе при равномерном распределении концен-

трации частиц пыли по сечению трубопровода и чисто гравитационных процессах осаждения рассмотрено Н.Фуксом [7]. Полученное им выражение имеет вид

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{2\tau_p g L}{\pi R \bar{U}}\right), \quad (1)$$

где  $\tau_p = \frac{1}{18} \frac{\delta^2 \gamma}{\mu}$  – время релаксации частиц, с;

$\delta$  – эквивалентный диаметр частиц пыли, мкм;

$\gamma$  – плотность частиц пыли, кг/м<sup>3</sup>;

$L, R$  – длина и радиус трубопровода, м;

$\bar{U}$  – средняя скорость воздуха в трубопроводе, м/с;

$\mu$  – динамическая вязкость, Па·с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Приведенное выражение может быть использовано для анализа осаждения аэрозолей и в горных выработках при преимущественно гравитационном осаждении пыли. Учитывая то, что форма сечения выработок значительно отличается от круглого трубопровода, в выражении (1) величину  $R$  определим как

$$R = \frac{2S}{P},$$

где  $S$  – сечение выработки, м<sup>2</sup>;

$P$  – периметр выработки, м.

Что касается предположения о равномерной концентрации аэрозоля по сечению выработки, то, как отмечает Н.Фукс, при наличии макровихрей, сопоставимых с размерами выработок, и при больших числах  $Re$  такое распределение является близким к истинному.

В общем случае принято считать, что концентрация аэрозоля в горных выработках имеет распределение по высоте [8]

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{V_s h}{K_T}\right), \quad (2)$$

где  $V_s = \tau_p g$  – скорость осаждения частиц, м/с;

$K_T$  – коэффициент турбулентной диффузии.

Однако выражение, по мнению Н.Фукса, является спорным, так как оно получено В.Шмидтом для условий, когда наблюдается полное вторичное сдувание аэрозоля (отсутствует осаждение) и отсутствуют макровихри в потоке (гладкие стенки трубопровода).

Вопросы распределения рудничной пыли по дисперсному составу в момент ее образования, то есть у источников пылевыведения, рассмотрены в работе [9]. На основании выполненных исследований авторами теоретически получены выражения, характеризующие данное распределение:

$$P(\delta) = 1 - \exp(-b\delta^2), \quad (3)$$

$$f(\delta) = 2b\delta \exp(-b\delta^2). \quad (4)$$

Воспользовавшись (1) с учетом приведенного начального распределения, определим изменение концентрации пыли и дисперсного состава по длине выработки.

Учитывая, что выражение (1) справедливо только для монодисперсной пыли, а также то, что концентрацию частиц в узком диапазоне размеров  $\Delta\delta$  полидисперсного аэрозоля можно представить как  $\frac{dC}{d\delta}\Delta\delta$ , получим

$$\frac{dC}{d\delta} = \frac{dC_0}{d\delta} \exp\left(-\frac{2\tau_p gL}{\pi UR}\right). \quad (5)$$

Подставив вместо  $\tau_p$  его значение и введя величину

$$B = \frac{\gamma gL}{9\pi\mu RU}, \quad (6)$$

получим

$$\frac{dC}{d\delta} = \frac{dC_0}{d\delta} \exp(-B\delta^2). \quad (7)$$

С учетом того, что

$$\frac{1}{C_0} \frac{dC_0}{d\delta} = f_0(\delta),$$

имеем

$$\frac{dC}{d\delta} = C_0 f_0(\delta) \exp(-B\delta^2). \quad (8)$$

Приняв начальное распределение из выражения (4), имеем

$$C = C_0 \int_0^{\infty} f_0(\delta) \exp(-B\delta^2) d\delta = C_0 \int_0^{\infty} 2b\delta \exp(-b\delta^2) \exp(-B\delta^2) d\delta. \quad (9)$$

Выполнив интегрирование, получим выражение для определения суммарной концентрации аэрозоля:

$$C = C_0 \frac{b}{b+B}. \quad (10)$$

Плотность распределения пыли по дисперсному составу определим как

$$f(\delta) = \frac{dC}{Cd\delta} = \frac{b+B}{b} f_0(\delta) \exp(-B\delta^2). \quad (11)$$

Окончательно плотность и функция распределения

$$f(\delta) = 2(b+B)\delta \exp[-(b+B)\delta^2], \quad (12)$$

$$P(\delta) = 1 - \exp[-(b+B)\delta^2],$$

где  $B = \frac{\gamma gL}{9\pi\mu RU}$  – величина, зависящая только от геометрических размеров выработ-

ки, скорости воздуха и плотности частиц.

Эта величина легко определяется для каждого конкретного случая.

Из уравнений (12) видно, что по мере распространения аэрозоля в горных выработках и изменения его дисперсного состава закон распределения массы частиц не из-

меняется. Угол наклона прямой характеризует распределение в двойной логарифмической сетке, остается постоянным, а изменяется только начальное смещение прямой.

$$C_1 = \lg(\lg e) + 2 \lg \sqrt{b + B}. \quad (13)$$

В реальных условиях горных выработок процесс осаждения под воздействием гравитационных сил может естественно отличаться от принятого (1). Отличия эти могут быть обусловлены неравномерным распределением концентрации пыли по сечению выработки и наличием иных механизмов осаждения, в частности инерционного. Однако, анализируя уравнения (1) и (8), можно заметить, что если процессы осаждения или распределения пыли в выработке экспоненциально связаны с временем релаксации, то закон распределения не меняется. Покажем это на примере учета распределения частиц пыли по высоте выработки, представленного уравнением (2), приняв, как рекомендуют авторы [9], коэффициент турбулентной диффузии постоянным для выработок и равным

$$K_T = 0,044\nu \operatorname{Re}^{0,75}, \quad (14)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\operatorname{Re}$  – число Рейнольдса.

Определим изменение средней концентрации пыли и ее дисперсного состава в горной выработке с учетом того, что осаждение пыли определяется концентрацией пыли  $C_0$  у почвы выработки. Из (2) концентрация аэрозоля в месте измерения

$$C_0 = C_{п0} \exp\left(-\frac{V_s h_K}{K_T}\right), \quad (15)$$

где  $h_K$  – высота точки, в которой осуществляется контроль запыленности аэрозоля у почвы;

$C_{п0}$  – концентрация аэрозоля у почвы выработки.

Подставив в уравнение значение, выраженное через время релаксации

$$V_s = \tau_p g = \frac{1}{18} \frac{\delta^2 \gamma}{\mu} g,$$

и обозначив

$$A = \frac{1}{18} \frac{\gamma g h_K}{\mu K_T}, \quad (16)$$

получим

$$C_0 = C_{п0} \exp(-A\delta^2). \quad (17)$$

Если вместо величины  $C$  подставить полученное значение в (7) и провести следующие вычисления, то окончательно получим

$$\begin{aligned} f(\delta) &= 2(b + B + A) \exp[-(b + B + A)\delta^2]; \\ P(\delta) &= 1 - \exp[-(b + B + A)\delta^2]; \end{aligned} \quad (18)$$

$$C = C_{п0} \frac{b}{b + B + A}.$$

В итоге полученный результат свидетельствует о сохранении прежнего закона распределения. Коэффициент  $A$  свидетельствует о том, что при наличии градиента концентрации по высоте горной выработки пыль в месте измерения является более мелко-

дисперсной, чем пыль у почвы горной выработки, распределение которой (при  $h_n = 0$ ) описывается выражением (12). Концентрация пыли в точке измерения через концентрацию пыли у почвы с учетом выражения (10) может быть определена как

$$C = C_{II} \frac{b + B}{b + B + A}. \quad (19)$$

При большой скорости вентиляционных потоков существенную роль начинает играть инерционное осаждение пыли. Такое осаждение происходит за счет локальных вихрей, образующихся при обтекании элементов крепи, препятствий, выступов шероховатости и т.п., а также осаждение под воздействием поперечной составляющей пульсационной скорости.

Интенсивность инерционного осаждения зависит от множества влияющих факторов и до сих пор в достаточной мере не изучена, более того нет единого мнения и в характере затухания пульсационной скорости у стенок выработок. Н.Фукс [8] считает, что на интенсивность осаждения на стенки выработок и на препятствия существенно влияет также электростатическая зарядность частичек. Однако можно согласиться с Н.Фуксом, что и в случае инерционного осаждения интенсивность осаждения пропорциональна концентрации частиц и их подвижности, определяемой временем релаксации. Формула, описывающая процесс осаждения монодисперсного аэрозоля на участке сосуда с объемом  $V_s$  и площадью поверхности  $S_s$ , имеет вид [8]:

$$V_s \frac{dn}{dt} = S_s K_T n \tau_p. \quad (20)$$

Откуда концентрация частиц монодисперсного аэрозоля

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{S_s K_T}{V_s} \tau_p t\right). \quad (21)$$

Сопоставление выражения (6) с выражением для гравитационного осаждения показывает их однозначную зависимость от величины  $\tau_p$ , поэтому и ход дальнейшего решения аналогичен. Учитывая, что величина  $t = \frac{L}{U}$ , а  $\frac{S_s}{V_s} = \frac{P}{S} = \frac{2}{R}$ , введем новый коэффициент  $B_1$ , характеризующий совместное воздействие инерционных и гравитационных сил:

$$B_1 = \frac{\gamma g L}{9\pi\mu R U} + \frac{K_T L \gamma}{9\mu R U} = \frac{\gamma L}{9\pi\eta R U} (g + K_T \pi). \quad (22)$$

Окончательно с учетом гравитационного и инерционного осаждения

$$\begin{aligned} f(\delta) &= 2(b + B_1)\delta \exp[-(b + B_1)\delta^2]; \\ P(\delta) &= 1 - \exp[-(b + B_1)\delta^2]; \\ C &= C_0 \frac{b}{b + B_1}. \end{aligned} \quad (23)$$

При анализе процессов образования и распространения пыли в горных выработках учтены основные факторы, влияющие на процесс образования и распространения

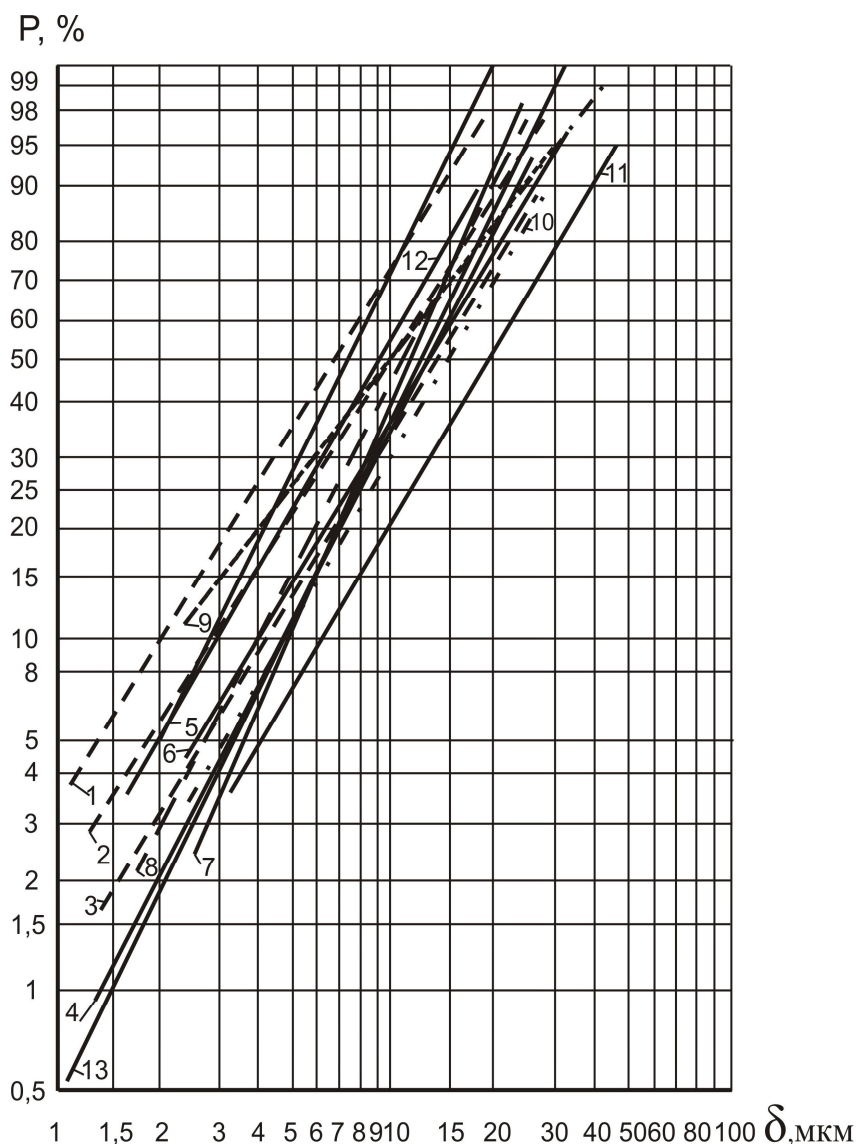
пыли. Однако существует много других второстепенных факторов, которые в какой-то мере способны повлиять на распределение. В частности, при многократном взаимодействии трущихся поверхностей в процессе образования пыли закон распределения шероховатости будет в какой-то мере отличаться от первоначального распределения. При этом возрастет вероятность образования более грубых фракций и, как следствие, некоторого снижения показателя степени в уравнении распределения (3). В свою очередь анализ процессов осаждения выполнен без учета процессов коагуляции, заряженности частиц аэрозоля, осаждения аэрозоля на стенки выработки за счет молекулярной диффузии и возможного вторичного сдувания осевших частичек пыли. Все эти процессы носят вероятностный характер и зависят от большого количества трудноопределяемых факторов. Однако они не являются определяющими и не могут существенно повлиять на распределение пыли.

Учитывая изложенное, следует считать, что распределение рудничной пыли однозначно описывается распределением Розина-Раммлера при среднем значении показателя степени  $a=2$ . Незначительные отклонения от этого значения возможны в процессе образования пыли и при наличии механизмов осаждения пыли, не связанных экспоненциально с временем релаксации частиц пыли.

Для проверки справедливости сделанных выводов сопоставим полученный результат с многочисленными экспериментальными данными по определению дисперсного состава пыли, изложенных в работах ученых ВостНИИ [10], МакНИИ [11, 12], Кудряшова [13], Голузина [14, 15] Бройера [16] и Никитина [17]. На рис.1 представлены наиболее характерные кривые распределения, построенные в двойной логарифмической координатной сетке, и теоретическая кривая распределения с угловым коэффициентом, равным 2, при  $b = 0,005$ .

Для всех приведенных кривых распределения характерно то, что они в основном имеют вид прямых линий в двойной логарифмической координатной сетке, в том числе и распределения по данным ВостНИИ, которые авторы, пытаясь связать их с логарифмическим нормальным законом, изображали в логарифмически вероятностной координатной сетке кривыми линиями. Некоторое исключение представляют отдельные распределения по данным МакНИИ [12], которые в области частиц с  $\delta < 20$  мкм представляют собой прямую линию, а при больших размерах наклон прямой уменьшается. Авторы работы [12] делают неверный вывод о причине такого характера распределения, объясняя его "усечением" кривой распределения за счет выпадения грубых частиц аэрозоля. Однако при усечении кривой распределения [18] в этой области наблюдается рост крутизны кривой распределения, а указанный характер поведения кривой, по нашему мнению, объясняется, прежде всего, методическими ошибками при отборе и анализе проб пыли.

Тангенс угла наклона прямых находится в основном в диапазоне от 1,7 до 2,2, причем характерно то, что вблизи источников пылеобразования, как правило, угол наклона меньше, а по мере удаления от источников угол наклона распределения увеличивается. С одной стороны, это может быть объяснено тем, что процесс образования пыли в какой-то мере отличается от принятой нами модели. Как указывалось ранее, это может привести к уменьшению значения коэффициента  $a$ . С другой стороны, не исключены и возможные ошибки при отборе проб у источников пылеобразования, связанные с несоблюдением условий изокинетичности отбора в турбулентных потоках, и ошибки при обработке пробы.



1 – на исходящей струе [10]; 2 – в 20 - 30 м от комбайна [10]; 3 – в зоне дыхания машиниста [10]; 4 – наиболее вероятное распределение, по данным МакНИИ [11]; 5 – вентиляционный штрек в 300м от лавы [11]; 6 – перегрузочный пункт [11]; 7 – крутое падение, лава [11]; 8 – по данным Кудряшева; 9, 10 – по данным Голузина [15]; 11 – по данным Никитина [17]; 12 – по данным Бройера [16]; 13 – теоретическое распределение при  $a=2$  и  $v=0,005$

Рисунок 1 – Распределение массы пыли по диаметрам

Тангенс угла наклона кривой, характеризующей наиболее вероятное распределение по данным МакНИИ, незначительно отличается от теоретического и составляет 1,9. По-видимому, при разработке методов расчета уровня запыленности рудничной атмосферы целесообразно в дальнейшем принять эту величину. Ошибка в определении общей концентрации пыли, а также содержания различных фракций пыли при возможных изменениях величины  $1,7 \leq a \leq 2,2$  не превысит  $\pm 10\%$ .

**Выводы.** При распространении аэрозолей в горных выработках изменения его дисперсного состава не приводят к изменению закона распределения. Угол наклона прямой, характеризующей распределение в двойной логарифмической сетке, остается постоянным, а изменяется только начальное смещение прямой. Получены выражения,



позволяющие рассчитать концентрацию и дисперсный состав рудничных аэрозолей по длине и высоте горных выработок при наличии гравитационного и инерционного осаждения частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / [М.И.Нецепляев, А.И.Любимова, П.М.Петрухин и др.] – М.: Недра, 1992. – 298с.
2. Нецепляев В.И. Гидрозащита от взрывов угольной пыли в шахтах / Нецепляев В.И., Петрухин П.М., Кравец В.М. – К.: Техніка, 1980. – 131с.
3. Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей / [В.И.Мамаев, Ж.А.Ибраев, В.А.Лигай и др.] – М.: Недра, 1990. – 159с.
4. Рид Р. Свойства жидкостей и газов / Р.Рид, Т.Шервуд. – М.: Гостоптехиздат, 1964. – 334с.
5. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А.Михеев, И.М.Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343с.
6. Янов А.П. Защита рудничной атмосферы от загрязнения / А.П.Янов, В.С.Ващенко. – М.: Недра, 1977. – 263с.
7. Фукс Н.А. Механика аэрозолей / Фукс Н.А. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352с.
8. Бурчаков А.С. Динамика аэрозолей в горных выработках / А.С.Бурчаков, О.М.Москаленко. – М.: Наука, 1965. – 68с.
9. Голинько В.И. Анализ процесса пылеобразования при добыче и транспортировке полезных ископаемых / В.И.Голинько, Я.Я.Лебедев, Е.А.Новикова // Школа подземной разработки: международная научно-практическая конференция: материалы конференции. – 2010. – С.126-135.
10. Онтин Е.И. Исследование дисперсного состава пыли угольных шахт / Е.И.Онтин, И.И.Кустов // Совершенствование вентиляции и способов борьбы с пылью и газом в угольных шахтах: научные сообщения ИГД им. А.А.Скочинского. – М. – 1978. – Вып. 171. – С.53-61.
11. Борьба с угольной пылью в шахтах / [Е.Л.Бекирбаев, Г.С.Гродель и др.]. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 287с.
12. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / [П.М.Петрухин, Г.С.Гродель и др.]. – М.: Недра, 1981. – 248с.
13. Кудряшов В.В. Исследование дисперсного состава угольной пыли / В.В.Кудряшов // Безопасность труда в горной промышленности. – 1967. – № 12. – С.?
14. Голузин Н.И. Изменение концентрации фракций пыли в зависимости от скорости воздуха в лаве / Н.И.Голузин // Известия вузов. Горный журнал. – 1962. – № 2. – С.87-92.
15. Голузин Н.И. Оценка дисперсности рудничной пыли Челябинского бурого угля по весовым показателям / Н.И.Голузин, В.А.Ярцев // Известия вузов. Горный журнал. – 1962. – № 3. – С.33-39.
16. Бройер Г. Совершенствование методов замера пыли в производственных условиях / Г.Бройер // Глюкауф. – 1961. – № 21. – С.17-22.
17. Никитин В.С. К вопросу о дисперсном составе пыли, витающей в карьерах / В.С.Никитин // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – М.: Профиздат. – 1969. – Вып. 57. – С.68-73.
18. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / Коузов П.А. – Л.: Химия. – 1974. – 280с.