

DOI: 10.6084/m9.figshare.9783191

УДК 355.73

Убайдуллаєв Юсуфжон Нуруллаєвич

Кандидат технічних наук, професор кафедри військово-технічної та військово-спеціальної підготовки
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

Гаврилюк Альберт Олексійович

Науковий співробітник відділу розвитку ракетно-артилерійського озброєння та техніки
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

Полтораченко Наталія Іванівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0002-2238-6130

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ НА АРСЕНАЛАХ, БАЗАХ, СКЛАДАХ ЗБЕРІГАННЯ БОЄПРИПАСІВ

***Анотація.** Проведено аналіз сучасного стану арсеналів, баз, складів зберігання боєприпасів Збройних Сил України та досліджено етапи розвитку надзвичайної ситуації на них. Удосконалено модель для відтворення конкретних характеристик розвитку надзвичайної ситуації на спеціальному об'єкті для наочного управління цією ситуацією та вивчення її властивостей. На підставі формального опису розроблено структурні (параметричну та математичну) аналітичні моделі процесу розвитку надзвичайної ситуації на спеціальному об'єкті. Показано, що дієвим заходом боротьби з пожежею буде оперативне виявлення та ліквідація первинних вогнищ до початку теплових детонацій боєприпасів, після яких відбуваються каскадні поширення джерел загоряння, гасіння яких ускладнюється дією вторинних факторів ураження.*

***Ключові слова:** об'єкт для зберігання; захист; боєприпаси; аналіз; аналітична модель; пожежа; вибух; надзвичайна ситуація; ефективність заходів*

Постановка проблеми

Відповідно до воєнної доктрини України наша держава не має територіальних претензій до жодної із сусідніх країн. Проте недавні події в Криму, наявність сепаратистських настроїв на сході країни призвели до необхідності в терміновому порядку вживати заходи щодо зміцнення безздатності Збройних Сил України. Досягнення успіху в реалізації зазначеного завдання певним чином залежить від ефективності системи матеріально-технічного забезпечення військ, складовими елементами якої є арсенали, бази, склади (об'єкти, спеціальні об'єкти) зберігання ракет і боєприпасів (боєзапасу).

Для своєчасного і повного задоволення потреб військ в засобах вогневого ураження при виконанні ними завдань на сьогодні в структурі ЗС України перебуває понад 100 лише стаціонарних арсеналів, баз, складів зберігання боєзапасу.

Вибухові речовини, що містяться в боєзапасі за своєю природою є хімічно нестабільними та потребують особливого поводження з ними. Тому при створенні спеціальних об'єктів для зберігання та виробництва ракет і боєприпасів в середині минулого

століття велика увага приділялась їх первинній збалансованій побудові. Це було відображено у дотриманні суворих пропорцій між пожежним навантаженням об'єктів та їх спроможностями з пожежогасіння, відповідності обсягів, номенклатури боєзапасу силам і засобам їх утримання, віддаленні місць зберігання від джерел потенційних небезпек. З часом, внаслідок структурної перебудови ЗС України, старіння ракет і боєприпасів та інфраструктури їх утримання, систематичного недофінансування заходів вибухопожежобезпеки вказані принципи були порушені.

Зазначене призводить до великої кількості пожеж, вибухів та надзвичайних ситуацій (НС) на об'єктах зберігання із чисельними людськими жертвами та значними матеріально-фінансовими втратами. Так, в період з 1992 р. дотепер в Україні та країнах СНД мали місце лише офіційно зареєстрованих понад 50 випадків НС, що пов'язані із арсеналами, базами та складами [1]. Яскравими прикладами цього є пожежа в місті Сватово, спроба запалювання військових складів ракетно-артилерійського озброєння в селищі міського типу Куйбишеве зони антитерористичної операції та місті Балаклія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням розвитку науково-методичної бази загальної оцінки небезпечних об'єктів, як цивільного так і військового призначення, останнім часом була присвячена значна кількість робіт. Так, наприклад, у відомій Програмі забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз та складів озброєння, ракет, боєприпасів Збройних Сил України на 1995 – 2015 рр. [2] визначені механізми та етапи покращення стану захисту об'єктів зберігання боєзапасу від пожеж та вибухів на багаторічну перспективу. Проте Програма виявилась малоєфективною внаслідок систематичного її недофінансування. У фундаментальних роботах [3 – 5] запропоновані методики носять опосередкований характер, не враховують специфіки сучасної життєдіяльності арсеналів, баз, складів зберігання ракет і боєприпасів, часових та просторових етапів розвитку НС на них. З цієї точки зору найбільш цікава методика [6]. Але вона занадто громіздка, та надає кількісну оцінку лише можливості виникнення пожеж і вибухів за критеріями розташування об'єктів, дотриманням на них заходів захисту від пожеж та вибухів, охорони, оборони та матеріально-технічного забезпечення. Офіційні відомчі методики прогнозування НС, забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки, контролю військових частин [7 – 8] носять на жаль якісний та опосередкований характер. Найбільш досконала з цієї точки зору інструкція [9] була введена в дію наказом Міністра оборони України у 2012 році. Проте, на наш погляд, вона також проблематична та потребує наукового обґрунтування.

Мета статті

Мета роботи полягає в удосконаленні моделей для відтворення конкретних характеристик розвитку НС на спеціальному об'єкті для наукового управління нею та вивчення властивостей.

Виклад основного матеріалу

Попередній вербальний опис проблемної ситуації є досить наближеним. Тому необхідно дослідити різноманітні її аспекти, без врахування яких оптимальне розв'язання завдання буде неможливим. Попередній аналіз літературних джерел, відомостей інформаційних мереж, розповідей очевидців дає змогу припустити такий сценарій розвитку НС на об'єкті зберігання боєзапасу:

- 1) формування та накопичення загроз;
- 2) збуджування (ініціювання) пожежі;
- 3) ескалація пожежі у НС, що супроводжується

вибухами та неконтрольованою дією їх факторів ураження;

4) локалізація (придушення) пожежі та ліквідація її наслідків.

На першому етапі розвитку НС створюються сприятливі умови для реалізації загроз V виникнення пожежі та вибухів. Зазначене відбувається внаслідок зниження надійності захисних систем об'єктів зберігання, погіршення технологій утримання боєзапасу, низької професійної підготовки персоналу. Частота реалізації загроз для аналогічних спеціальному об'єкту складних техногенних [10] дорівнює 10^{-4} .

Другий етап характеризується довільною появою теплових навантажень, джерел запалювання, навмисним занесенням вогнищ на територію об'єкта зберігання ззовні, впливом блискавки, статичної електрики тощо. Фактори D , що ініціюють розвиток пожежі є первинними.

Основними кількісними характеристиками таких факторів є: температура спалаху $T_{СП}$ (деревина сосни – 255°C), час горіння t_g (перші реакції вибухових речовин штабеля боєприпасів – 12–15 хв), швидкість лінійного поширення полум'я v (штабель дощок – 4 м/хв).

Після переростання незначних вогнищ у повномасштабну пожежу на третьому етапі сценарію виникають вторинні фактори ураження D_1 , що складають клас динамічних процесів: 1) безпосередня пожежа, як внутрішня (сховища, майданчики, штабелі) так і зовнішня (будівлі, споруди, масиви рослинності), її теплове та променеве лінійне поширення; 2) вибухи та супутні їм повітряні ударні хвилі з уламковими полями фрагментів корпусів боєприпасів та технологічного обладнання; 3) розлітання реактивних боєприпасів; 4) суміші токсичних речовин продуктів згоряння.

Дія вказаних факторів призводить до травм (навіть загибелі), опіків та отруєння людей, появи нових джерел загоряння, кінетичного ураження елементів інфраструктури арсеналу, бази, складу зберігання боєзапасу, оточуючого природного ландшафту.

Основні кількісні характеристики факторів D_1 такі: температура пожежі $T_{П}$ (деревина – 950°C); об'єм продуктів V (згоряння деревини – $4,4 \text{ м}^3/\text{кг}$; вибух тротилу – до $10 \text{ м}^3/\text{кг}$); пожежне навантаження ρ (штабель з боєприпасами – $100 \text{ кг}/\text{м}^2$); дальність розлітання l (уламкових елементів – до 500 м, реактивних снарядів – десятки км); тиск у фронті вибухової хвилі Δp_{ϕ} – до $2000 \text{ кг}/\text{см}^2$, температура вибуху T_B – до 3000°C .

До класу статистичних факторів X належать об'єкти та елементи ураження пожежею та вибухами, а саме сховища, майданчики зберігання, виробничі приміщення, місця вантажно-розвантажувальних

робіт, рослинність, природні та штучні перепони розповсюдження вогню та небезпечних впливів вибухів.

Ураження об'єкта зберігання вимірюється в умовних одиницях матеріальних збитків та буде залежати від використаних будівельних матеріалів, структури, щільності розташування, якості і запасу міцності його складових елементів, пори року та доби виникнення небезпечного процесу тощо Збиток від НС на арсеналі досягає 250 млн у. о.

Виходячи із сценарного опису розвитку пожеж та вибухів стан вибухопожежобезпеки спеціального об'єкта буде залежати від ефективності групи проблемних захисних заходів.

Зменшення імовірності виникнення пожежі та вибухів відбувається об'єктовими силами і засобом (ресурсами) Z_0 шляхом реалізації планових протипожежних заходів. До них належать контроль посадовими особами протипожежного стану об'єкта, проведення профілактичних робіт, своєчасне виявлення джерел загоряння. Витрата ресурсу на зменшення загроз для типового об'єкта зберігання j досягає 100 люд/год. за добу.

Ліквідації джерел загоряння та недопущення їх розвитку в масштабну пожежу відбувається після оповіщення та прибуття пожежних розрахунків протягом перших 5 хв із застосуванням первинних засобів пожежогасіння. При загорянні штабеля боєприпасів майданчика відкритого зберігання потрібний ресурс π становить 1 люд/год.

Важливим фактором збільшення часу переростання пожежі у повномасштабну є покращення вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання боєприпасів, а також елементів інфраструктури за рахунок нанесення на них вогнестійких покриттів. Їх захисна дія проявляється в зменшенні глибини і швидкості прогрівання поверхонь. Такого ефекту досягають використовуючи покриття, що містять у своєму складі речовини, які здатні до ендотермічного розкладання при нагріванні, поглинання значної кількості тепла і виділення інгібіторних складів. Температура конструкцій при цьому певний час не перевищує показників кипіння води чи розкладання ендотермічного компонента покриття [11].

Боротьба з пожежею включає прибуття, розгортання та безпосередню роботу об'єктових пожежних розрахунків, команд, сил та засобів МНС Z_R та за обсягом ресурсу r більше 1000 люд/год. Заходи запобігання вибухам повинні бути сумірними потужностям вибухових речовин боєприпасів та проводяться, як правило, для невеликих калібрів.

Відновлення арсеналу, бази, складу, рекреація навколишньої території, компенсація матеріальних збитків населенню після пожежі та вибухів потребує залучення об'єктових, регіональних та ресурсів

центрального підпорядкування δ обсягом до 10^4 люд/год.

Проведений структурний аналіз, досліджені статичні характеристики системи, виявлені зв'язки між елементами дають змогу побудувати параметричну модель розвитку та протидії НС на об'єкті зберігання боєзапасу (рисунок).

Отримана модель спрощено відображає структурні та функціональні властивості, необхідну та достатню сукупність показників системи вибухопожежобезпеки спеціального об'єкта, визначає напрям розвитку процесу у разі її збудження [12].

З точки зору функціонального аналізу для дослідження динамічних характеристик системи захисту арсеналу, бази, складу зберігання від пожежі та вибухів S_{BB} можна подати у формалізованому вигляді таким чином:

$$S_{BB} = f(t, j, \pi, r, \delta). \quad (1)$$

Функціональний вираз (1) дозволяє обґрунтувати оптимальні витрати ресурсів процесу протидії розвитку НС в часі, тобто якісно та чисельно оцінити стани етапів її протікання за розробленим сценарним описом.

Проведений системний аналіз стану вибухопожежобезпеки об'єктів зберігання боєприпасів свідчить, що вона буде залежати від успішної реалізації множини заходів спрямованих на:

- 1) попередження пожеж та вибухів $Z_0(V \cup D)$;
- 2) боротьбу з пожежами, вибухами та відновлення після них $Z(D_1 \cup X)$.

За умови, що всі показники зведені до однакових одиниць вимірювання та подані у грошовому еквіваленті ефективність заходів безпеки E_{BB} набуває вигляду:

$$E_{BB} = Z(V \cup D) \cap Z_1(D_1 \cup X) \rightarrow Z_{\min}. \quad (2)$$

З виразу випливає, що ефективність системи буде максимальною E_{\max} , якщо різниця між вартістю заходів попередження та боротьби з НС буде мінімальною Z_{\min} . Зазначене можливо при мінімальній імовірності реалізації загроз пожеж та вибухів. Природно, якщо серед припустимих попереджувальних заходів цей є найбільш оперативним з точки зору часу реагування t , або $t \rightarrow t_{\min}$ та витрати ресурсів: $Z \rightarrow Z_{\min}$, то – $E = E_{\max}$. Значить цільову функцію захищеності об'єкта зберігання боєзапасу від пожеж та вибухів K_{BB} можна записати так:

$$K_{BB} = K[(t \rightarrow t_{\min}); (Z \rightarrow Z_{\min}), (E = E_{\max})]. \quad (3)$$

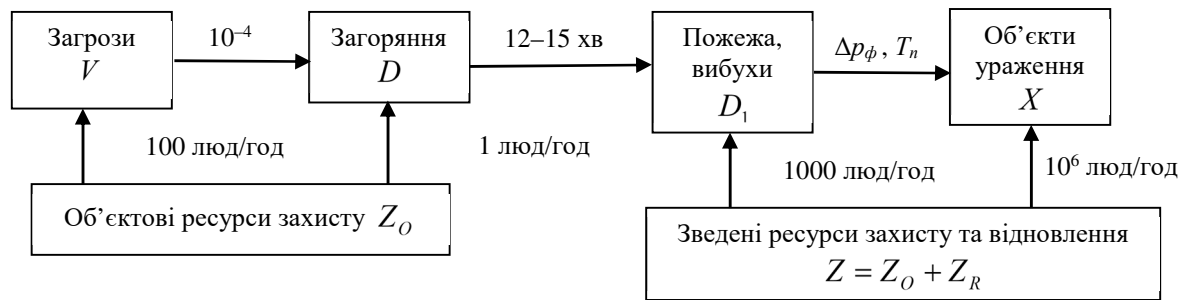


Рисунок – Структурна параметрична модель розвитку та протидії пожежам та вибухам на об'єкті зберігання боєзапасу

Дослідження аналітичної моделі (3) вказує на два важливі фактори – час і матеріально технічні ресурси для боротьби з НС. Відповідно оптимальні управлінські впливи на них будуть підвищувати ефективність системи захисту від пожеж та вибухів на всіх етапах їх розвитку.

Висновки

Сучасна захищеність арсеналів, баз, складів зберігання в силу природи їх матеріальних складових, особливостей наявних технологій утримання ракет і боєприпасів характеризується постійним накопиченням загроз пожеж і вибухів. Канали реалізації таких небезпек різноманітні, що значно ускладнює несистемну протидію ним.

В роботі проведено структурування процесу розвитку пожежі та вибухів на фази накопичення загроз, збуджування, ескалації, локалізації та ліквідації їх наслідків, встановлено структурно-логічні зв'язки між ними. Формалізований опис НС та удосконалені на його підставі структурна параметрична та математична аналітична моделі

дають змогу відтворити конкретні характеристики вибухопожежобезпеки спеціальних об'єктів та їх зміни при впливах на параметри системи.

Показано, що дієвим заходом вирішення проблеми боротьби з пожежами на спеціальних об'єктах буде оперативне виявлення та ліквідація первинних вогнищ за час до початку теплових детонацій боєприпасів, після яких відбуваються каскадні поширення джерел загоряння, гасіння яких ускладнюється дією вторинних факторів ураження. Зазначений час тісно пов'язаний із якісними та кількісними характеристиками пожежі, укомплектованістю та навченістю пожежних розрахунків, команд. Тому подальший пошук та наукове обґрунтування методик скорочення часу реагування, витрат ресурсів на протидію НС є важливою практичною задачею, що сприятиме формуванню політики з попередження пожеж та вибухів для зниження ризику їх виникнення та мінімізації наслідків пожеж та вибухів для Збройних Сил України.

Список літератури

1. Мошковский Н. С. Повышение уровня огнезащиты складов хранения вооружения, ракет и боеприпасов [Текст] / Н. С. Мошковский, А. И. Березовский, В. И. Назарок, С. В. Фетисов, Н. Н. Сидоренко, Ю. В. Цанко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2010. – № 3. – С. 8 – 15.
2. Програма забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз та складів озброєння, ракет боєприпасів Збройних Сил України на 1995-2015 роки: постанова Кабінету Міністрів України № 472 від 28 червня 1995 року (з відповідними змінами і доповненнями).
3. Аронольд В.И. Теория катастроф / В.И. Аронольд. – 3-е изд., доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 128 с.
4. Радаев Н.Н. Элементы теории риска эксплуатации потенциально опасных объектов / Н.Н. Радаев. – М: РВСН, 2000. – 323 с.
5. Стоєцький В. Ф. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної безпеки / [В.Ф. Стоєцький, Л.В. Драннишников, А.Д. Єсипенко та ін.]. – Тернопіль: – ТЗОВ “Видавництво Астон”, 2006. – 569 с.
6. Організація безпечного функціонування арсеналів, баз і складів боєприпасів: навчальний посібник / О.В. Алексеєнко, Н.К. Багдасарян, А.О. Гаврилюк та ін. – К.: НАО України, 2010. – 188 с.
7. Про забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз і складів озброєння, ракет і боєприпасів Збройних Сил України на 1995 – 2015 роки. Наказ Міністра оборони України від 06.09.2005 р. № 536.
8. Інструкція про порядок проведення інспекційних заходів та підсумкових перевірок у Збройних Силах України. Наказ Міністра оборони України від 21.05.2001 р., № 162.
9. Інструкція про порядок оцінки потенційно небезпечних об'єктів Збройних Сил України з питань живучості та вибухопожежобезпеки. Наказ Міністра оборони України від 21.11.2012 р., № 771.

10. Бегун В.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. [В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко та ін.]. – К.: – Фирма “Віпол”, 2000. – 568 с.

11. Григоренко О.М. Підвищення ефективності протипожежного захисту деревини з використанням епоксидних композицій зі зниженням димоутворенням / О.М. Григоренко. – Х.: НУЦЗ України, 2014. – 96 с.

12. Ніконова О.Я. Основи системного аналізу: навчальний посібник / О.Я. Ніконова, А.І. Кудін М.В., Костікова та ін. – Х.: ХНАД, 2012. – 160 с.

Стаття надійшла до редколегії 17.01.2019

Убайдуллаев Юсуфжон Нуруллаевич

Кандидат технических наук, профессор кафедры военно-технической и военно-специальной подготовки Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев

Гаврилюк Альберт Алексеевич

Научный сотрудник отдела развития ракетно-артиллерийского вооружения и техники Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Киев

Полтораченко Наталия Ивановна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, orcid.org/0000-0002-2238-6130

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА АРСЕНАЛАХ, БАЗАХ, СКЛАДАХ ХРАНЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ

Аннотация. Проведен анализ современного состояния арсеналов, баз, складов хранения боеприпасов Вооруженных Сил Украины и исследованы этапы развития чрезвычайной ситуации на них. Усовершенствована модель для воспроизведения конкретных характеристик развития чрезвычайной ситуации на специальном объекте для реального управления этой ситуацией и изучения её свойств. На основании формального описания разработаны структурная параметрическая и математическая аналитическая модели процесса развития чрезвычайной ситуации на специальном объекте. Показано, что действенным способом борьбы с пожаром будет оперативное выявление и ликвидация первичных возгораний до начала тепловых детонаций боеприпасов, после которых происходит каскадное распространение источников возгорания, гашение которых затрудняется воздействием вторичных факторов поражения.

Ключевые слова: объект для хранения; защита; боеприпасы; анализ; аналитическая модель; пожар; взрыв; чрезвычайная ситуация; эффективность мероприятий

Ubaydoullaev Yosoufgon

PhD, Professor, National defense university of Ukraine, Kyiv

Gavreluk Albert

Central Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv

Poltorachenko Natalia

PhD, Docent, associate professor at Information technologies of Design and applied mathematics department, orcid.org/0000-0002-2238-6130

Kyiv National University Construction and Architecture, Kyiv

A DESIGN OF DEVELOPMENT EMERGENCY ON ARSENALS, BASES, COMPOSITIONS FOR STORAGE AMMUNITION

Abstract. The analyses of the modern state of arsenals, bases and storage saving of live ammunitions of Military Powers of Ukraine is given in the article. Stages of development of extraordinary situation are explored too. A model is improved for the recreation concrete descriptions of development extraordinary situation on the special object. It giving possible to management by this situation and study of its properties. The structural and mathematical analytical models of process development extraordinary situation on the special object had been developed. It have basis on formal specification. It is shown, that the operative exposure and liquidation of primary hearths to beginning of thermal explores live ammunitions, which cascade distributions of sources of becoming tanned, extinguishing of which is complicated by action of the second factors of defeat, are after, will be the effective measure of fight against a fire.

Keywords: object for storage; protecting; ammunition; analysis; analytical model; fire; explosion; emergency; efficiency of measures

References

1. Moshkovsky, N.S., Berezovsky, A.I., Nazarok, V.I., Fetisov, S.V., Sidorenko, N.N. & Tsapko, Yu.V. (2010). *Increasing the level of fire protection of warehouses for weapons, missiles and ammunition. Artillery and Rifle armament*, 3, 8 – 15.
 2. *Program of ensuring survivability and explosion safety of arsenals, bases and warehouses of armaments, ammunition missiles of the Armed Forces of Ukraine for 1995-2015: Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 472 dated June 28, 1995 (with corresponding amendments and additions).*
 3. Aronold, V.L., (1990). *The Theory of Disasters*, 128.
 4. Radaev, N.N., (2000). *Elements of the theory of risk of exploitation of potentially dangerous objects*, 323.
 5. Stoetsky, V.F., (2006). *Management of technogenic safety of objects of high danger*, 569.
 6. Alekseenko, O.V., Baghdasaryan, N.K. & Gavrilyuk, A.O., (2010). *Organization of safe operation of arsenals, bases and warehouses of ammunition: a manual*, 188.
 7. *On ensuring survivability and explosion safety of arsenals, bases and warehouses of armaments, missiles and ammunition of the Armed Forces of Ukraine for 1995-2015. Order of the Minister of Defense of Ukraine dated September 6, 2005 No. 536.*
 8. *Instruction on the procedure for conducting inspection and final inspections in the Armed Forces of Ukraine. Order of the Minister of Defense of Ukraine dated May 21, 2001, No. 162.*
 9. *Instruction on the procedure for assessing the potentially dangerous objects of the Armed Forces of Ukraine on issues of survivability and explosion and fire safety. Order of the Minister of Defense of Ukraine dated 21.11.2012, No. 771.*
 10. Begun, V.V., (2000). *Probabilistic safety analysis of nuclear power plants*, 568.
 11. Grigorenko, O.M., (2014). *Increasing the effectiveness of fire protection of wood using epoxy compositions with reduced smoke formation*, 96.
 12. Nikonova, O.Y., Kudin, A.I. & Kostikova, M.V., (2012). *Fundamentals of System Analysis: Tutorial*, 160.
-

Посилання на публікацію

- APA Ubaydoullaev, Yo.N., Gavreluk, A.O., & Poltorachenko, N.I., (2019). *A design of development emergency on arsenals, bases, compositions for storage ammunition. Management of development of Complex systems*, 37, 60 – 65. [in Ukrainian], [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.9783191](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783191).
- ДСТУ Убайдуллаєв Ю.Н. *Моделювання розвитку надзвичайної ситуації на арсеналах, базах, складах зберігання боєприпасів [Текст] / Ю.Н. Убайдуллаєв, А.О. Гаврилюк, Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 37. – С. 60 – 65, [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.9783191](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783191).*