

В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха

Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

Монографія



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Стрілець В.М., Бородич П.Ю., Росоха С.В.

**Закономірності діяльності рятувальників при проведенні
аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену**

МОНОГРАФІЯ

Харків 2012

УДК 614.84
ББК 38.96
С83

Друкується за рішенням вченої ради
Національного університету цивільного
захисту України
Протокол № 2 від 08.11.2011 р.

Рецензенти: доктор технічних наук, професор, А.Т. Ашерев, завідувач кафедри інформатики та комп'ютерних технологій Української інженерно-педагогічної академії;
кандидат технічних наук, В.Г. Рева, помічник Міністра надзвичайних ситуацій України;
доктор технічних наук, О.М. Соболь, начальник кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту факультету цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України.

Стрілець В.М., Бородич П.Ю., Росоха С.В.

К 17 **Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену:**
монографія / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха. – Х.: НУГЗУ, 2012. – 120 с.
ISBN

Монографія присвячена визначенню закономірностей діяльності рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену. Показано, що закономірністю виконання типових операцій рятувальниками є опис розподілу часових характеристик їх виконання за допомогою β -розподілу. Уточнені закономірності роботи в ізолюючих апаратах – розподіл витрат повітря при роботі в апаратах на стиснутому повітрі є скошеним, а розподіл подачі кисню в регенеративних апаратах – нормальним. За результатами імітаційного експерименту отримано багатофакторні нелінійні оцінки закономірностей, що характеризують час виконання окремих етапів аварійно-рятувальних робіт.

Рекомендується для викладачів, ад'юнктів, аспірантів та курсантів вищих навчальних закладів при вивченні навчальних дисциплін за напрямками "Пожежна безпека", "Цивільний захист", "Ергономіка", "Безпека життєдіяльності", а також науково-практичних робітників та спеціалістів, що працюють за цими напрямками.

Іл. 33 Табл. 12 Бібліогр.: 129 назв

ВСТУП

Як би добре не було виконано заходи, пов'язані із запобіганням надзвичайним ситуаціям, залишається ймовірність їхнього виникнення і, відповідно, проведення аварійно-рятувальних робіт. Особливої актуальності проблема підвищення ефективності таких робіт набуває в тому випадку, коли розглядається метрополітен, що являє собою складний комплекс споруд і пристроїв для забезпечення масового перевезення пасажирів.

До складу кожної станції, крім пасажирських приміщень входять [1]: ескалаторна станція, сполучена тягово-знижувальна електропідстанція, десятки службових приміщень, вентиляційні та сантехнічні пристрої. Ряд споруджень перебуває в тунелях, тупиках і підземних об'єктах, що примикають до них. Насиченість технічними пристроями, висока енергооснащеність у поєднанні з наявністю значної кількості горючих і вибухонебезпечних матеріалів, які використовуються, визначають потенційну небезпеку метрополітену. Підземне розташування об'єктів ускладнює обстановку у випадку виникнення надзвичайної ситуації.

Реальна небезпека підтверджується випадками надзвичайних ситуацій у метро, які, на жаль, іноді мають наслідком загибель великої кількості людей (отруєння пасажирів і обслуговуючого персоналу).

Процес проведення аварійно-рятувальних робіт, який у разі виникнення надзвичайної ситуації являє собою єдину функціонально цілісну систему [2], що забезпечує рятування людей, у тому числі з непридатного для дихання середовища, ліквідацію надзвичайної ситуації, підтримання прибуваючих підрозділів оперативно-рятувальної служби і персоналу потенційно небезпечних об'єктів, а також спеціальної техніки у стані постійної готовності тощо, у метрополітені вимагає реалізації великої кількості організаційно-технічних заходів.

Ці заходи, насамперед, пов'язані зі зняттям напруження, організацією допуску аварійно-рятувальних підрозділів, взаємодією різних служб, використанням великої кількості різноманітних технічних засобів тощо. Дії рятувальників ускладнюються значним віддаленням підземних об'єктів від поверхні, труднощами в організації зв'язку, високим задимленням, обмеженою видимістю, можливим виходом з ладу кабельних комунікацій, освітлення, тунельної вентиляції, ескалаторів, пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів і т.д. Все це свідчить про те, що проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену (АРР СМ) демонструє собою функціонування системи «рятувальник - екстремальне середовище».

Визначення правил організації цієї системи для того, щоб підвищити ефективність і безпеку діяльності особового складу оперативно-рятувальних підрозділів, персоналу метрополітену та створюваних органів керування, не може бути здійснене без знання закономірностей діяльності в системі «рятувальник - екстремальне середовище» на станціях метрополітену.

Така діяльність повинна розглядатися в умовах комплексного впливу небезпечних факторів можливої НС, що збільшується через складність

конструктивно-планувальних рішень розташованого під землею комплексу споруджень і пристроїв. У той же час, дослідження, які було проведено раніше В.С. Махіним, В.С. Ілічкіним, П.А. Еварестовим, В.В. Ільїним, пов'язані з ліквідацією НС у метрополітені, вивчали тільки одну зі сторін цього процесу, пов'язану з високою температурою [6] і задимленістю [7].

Роботу гірничорятувальної служби і пожежних у засобах індивідуального захисту досліджували J.V. Moran, Richard M. Ronk [8], Н.С. Діденко [9], В.Д. Перепечаєв [10], В.Ю. Береза [10] і П.А. Ковальов [11]. Ці вчені відзначили те, що робота в ізолюючих апаратах характеризується легеневою вентиляцією, для якої було визначено показники, що відповідають видам робіт, що мають різний ступінь важкості, і наведені як у вітчизняних [12, 13], так і в закордонних [14, 15, 16] нормативних документах. Показано, що робота в засобах захисту органів дихання вимагає від рятувальників доброї фізичної, психологічної, психофізіологічної й тактичної підготовленості, однак особливості, властиві газодимозахисникам при проведенні АРР СМ, не розглядалися. Це було зроблено в роботі В.П. Беляцького й Г.П. Павлова [18], де дослідники надали рекомендації з використання значення показника подачі кисню в регенеративних дихальних апаратах для розрахунків часу роботи ланок і відділень ГДЗС при гасінні пожеж у метрополітені. Проте при цьому не враховувалися індивідуальні особливості рятувальників, а також спосіб подачі газоповітряної суміші, реалізований у конкретному ізолюючому апараті.

З комплексних позицій процес пожежно-оперативного обслуговування [19] розглядали Ю.О. Абрамов, Е.Ю. Прохач, В.М. Стрілець, В.М. Чучковський [20–23]. Вони відзначили, що для оперативної оцінки такого процесу необхідно проаналізувати велику кількість взаємозалежних проміжних робіт, які забезпечують гасіння, евакуацію й рятування (при необхідності) потерпілих. Сукупність цих дій являє собою складну динамічну керовану систему, дослідження якої доцільно здійснювати за допомогою відповідної імітаційної моделі.

Стосовно ліквідації аварії в метро імітаційне моделювання використовували В.Ф. Бондарєв і В.В. Семенов [24], які, застосовуючи науково-методичний апарат, основу якого склали мережі Петрі, розглянули оперативні дії з гасіння пожежі на електропідстанції метрополітену ланкою ГДЗС. Такий підхід не є застосованим для більшості інших аварійних і надзвичайних ситуацій у метрополітені, які носять імовірнісний характер.

Використання імітаційного моделювання на ЕОМ дозволяє оцінити вплив обраних факторів на час виконання досліджуваної операції або процесу. Зокрема багатофакторна залежність роботи ланок ГДЗС при гасінні пожежі в підвальному приміщенні, отримана В.М. Стрільцем [25], дозволяє оцінити вплив індивідуальних і групових якостей рятувальників на час досліджуваного етапу. У багатофакторних моделях, розроблених С.В. Андрєєвим [26], В.А. Грачовим [27], В.В. Терєбньовим [28], крім

окремих психофізіологічних якостей, розглядається вплив на кінцевий результат окремих характеристик середовища.

Однак існуючий науково-методичний апарат не дозволяє оцінити вплив на час виконання досліджуваного етапу АРР СМ узагальнених характеристик середовища, зокрема рівень відповідності характеристик станції прийнятим нормативно-технічним вимогам і можливостям реалізації запропонованих рекомендацій.

Таким чином, розкриття закономірностей діяльності в системі «рятувальник - екстремальне середовище» на станціях метрополітену дозволить визначити науково-обґрунтовані правила організації розглянутої системи.

Розроблений науково-методичний апарат розкриття закономірностей діяльності в системі «рятувальник - екстремальне середовище» на станціях метрополітену дозволяє обґрунтовано вибирати пріоритети при розробці практичних рекомендацій, пов'язаних як з підготовкою рятувальників, так і з реалізацією профілактичних заходів на станції, а також уточнювати методичні рекомендації з розрахунку часу роботи ланок і відділень ГДЗС у непридатному для дихання середовищі.

1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В МЕТРОПОЛІТЕНІ

1.1. Техногенна небезпека метрополітену

Метрополітен – вид міського транспорту, лінії якого пролягають в тунелях, по поверхні землі та на естакадах без перетинання в одному рівні з іншими видами транспорту. До комплексу споруджень метрополітену входять:

- станційні тунелі або наземні спорудження з розташованими в них залізничними коліями, пасажирськими платформами, розподільними залами, перехідними містками, сходами, вентиляційними, санітарно-технічними, електротехнічними пристроями, а також службовими приміщеннями;
- похилі тунелі з ескалаторами, натяжними пристроями і машинними приміщеннями;
- підземні вестибюлі, входи з поверхні землі, сполучні і перехідні коридори;
- тягово-знижувальні підстанції;
- вентиляційні кіоски, шахти, тунелі і камери;
- санітарні вузли і дренажні перекачування;
- оборотні пристрої для рухомого складу на кінцевих і зонних станціях, а також тупики, обладнані оглядовими канавами і приміщеннями для пунктів лінійного огляду.

Станції метрополітену класифікуються за наступними ознаками:

- за їх розташуванням щодо поверхні землі: на підземні дрібного закладення із заглибленням від 6 до 12 м і підземні глибокого закладення з поглибленням більше 12 м;
- за розташуванням і числом пасажирських платформ – на одноплатформні, двохплатформні, трьохплатформні (одна острівна платформа і дві бічні);
- за розміщенням станції на генеральній схемі ліній метрополітену і експлуатаційними особливостями цих ліній на проміжні, пересадні і кінцеві

Підземне розташування станцій, а також насиченість приміщень технічними пристроями, висока енергооснащеність у поєднанні зі значною кількістю використовуваних горючих матеріалів визначають техногенну небезпеку цих об'єктів. Приміщення і спорудження станції різні за своїм функціональним призначенням, тому їх небезпека носить різноманітний характер.

Вестибюлі станцій бувають двох видів: наземні, що мають вхід через окремі спорудження або вхід, вбудований у міські будинки, і підземні, з виходом з-під вуличного пішохідного переходу або через спеціальний критий і застелений павільйон. До вестибюля примикає ряд службових приміщень, що мають вихід через нього. Приміщення технічного призначення (кубові, бойлерні, водомірні вузли) мають звичайно невисоке пожежне навантаження (до $10 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$). Високі значення цієї характеристики

(до $50\text{--}65 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$) спостерігаються в приміщеннях з перебуванням людей (кімнатах міліції, касах, кабінетах керівництва). Пожежне навантаження самих вестибюлів становить декоративна обробка і прокладені електричні мережі з електроапаратурою, а також кіоски та лотки для продажу різних товарів. Так, 5 лютого 2001 року в Москві, на станції "Білоруська - кільцева", вибухнула граната, закладена у світильник вестибюля станції. У результаті вибуху поранено більше 10-ти чоловік. Вогнем була ушкоджена проводка станції і декоративна обробка.

Ескалаторний комплекс містить у собі машинний зал, похилий ескалаторний тунель і нижню натягну камеру. Пожежне навантаження машинних залів і їхніх службових приміщень у середньому становить $40\text{--}50 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$. Основну пожежну небезпеку становлять комори паливно-мастильних матеріалів (ПММ), де в великих кількостях (близько 250 кг на кожний редуктор) зберігаються горючі рідини. Ескалаторний тунель споруджується під кутом 30° до горизонту. Оброблення ескалаторного тунелю виконується із чавунних тюбінгів або залізобетонних блоків. Пожежне навантаження ескалаторів досить велике ($65\text{--}75 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$). У конструкції і обробці ескалатора широко застосовуються горючі матеріали. Висока пожежна небезпека ескалаторів викликає особливу увагу, оскільки вони є основними шляхами евакуації людей зі станції. Так, на станції "Чорна ріка" Ленінградського метрополітену 12 грудня 1989 року відбулася зупинка ескалатора. Через півгодини пасажери виявили дим в ескалаторному тунелі. Машиніст ескалатора, увійшовши до машинного залу, виявив його сильне задимлення і горіння щита керування. Пожежа була погашена співробітниками станції за допомогою вогнегасників.

До пасажирських приміщень станції відносяться розподільні зали і платформи станції, а також переходи між станціями пересадкових вузлів. Оброблення станцій метрополітенів, залежно від способу їх спорудження, виконується з монолітного, збірного бетону, залізобетону, чавунних або залізобетонних тюбінгів і блоків. Стіни оформляються декоративним матеріалом – мармуром, гранітом, плиткою та іншими оздоблювальними матеріалами. Пожежне навантаження пасажирських приміщень не перевищує $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ і обумовлено в основному горючою масою кабелів, проводів, світильників. Небезпека даного виду приміщень обумовлена перебуванням у них великої кількості людей. Унаслідок цього пасажирські приміщення мають особливий інтерес у терористів, які використовують як підривні, так і отруйні речовини. Характерним прикладом є випадок, що трапився 20 березня 1995 року в Японії, коли була зроблена перша масована атака терористів із застосуванням газу. Рятувальники, працюючи в засобах індивідуального захисту органів дихання і шкіри, організували та провели рятувальні, у першу чергу – евакуаційні роботи.

У комплексі підземних споруджень розрізняють службові приміщення, призначені для розміщення обслуговуючого персоналу, устаткування, а також приміщення, що виконують допоміжні функції, і приміщення для забезпечення робіт з експлуатації ліній, організації руху поїздів

метрополітену й т.д. Їх улаштовують у торці станції та у підплатформному просторі. Пожежне навантаження цих приміщень становить 35-45 кг·м⁻². Службові приміщення характеризуються обмеженою вентиляцією, у результаті чого пожежі в них, як правило, не будуть інтенсивними. Але навіть початкова стадія пожежі в службовому приміщенні супроводжується інтенсивним задимленням прилягаючих територій. Свідченням цього може бути загоряння, що відбулося 15 листопада 1999 року на станції "Маршала Жукова" Харківського метрополітену. В свою чергу інтенсивне задимлення значно затрудняє виявлення осередку надзвичайної ситуації і його ліквідацію.

Електричні підстанції метрополітену перетворюють трифазний струм напругою 6-10 кВ, що надходить від електричної мережі міста, у постійний струм напругою 825 В для тяги поїздів і живлення електроустаткування метрополітену. Техногенна небезпека електростанцій визначається наявністю маслонаповнюючого обладнання, кабельних споруджень, великої кількості ізоляційних матеріалів. Камери масляних трансформаторів містять 3000-5000 кг трансформаторного масла з високою теплою згоряння. Пожежне навантаження електростанцій у середньому становить до 40 кг·м⁻². При виникненні пожежі в цих спорудженнях відбувається сильне задимлення приміщень протягом короткого проміжку часу. Крім цього, пожежа може пошкодити комунікації електропоїздів, освітлення, ескалатори, вентиляцію, пристрої зв'язку. Ушкодження електроустаткування може сприяти паніці серед пасажирів.

Найнебезпечнішим елементом метрополітену є електрорухомий склад. Практично все обладнання всередині вагонів має елементи, виготовлені з горючих матеріалів. В основі підлоги вагона розташовується металевий лист, на якому після шару азбесту розміщені листи фанери і зверху лінолеум. У підлозі є люки для доступу в підвагоний простір, кришки яких зроблені із соснової деревини. Дивани вагонів мають металевий каркас. Спинки і подушки виготовлені з деревини з набивкою із пінополіуретану та деревини. Стеля, стіни і фризи виготовлені з паперово-шаруватого пластику. Прокладки, закладки, кріпильні деталі салону виконані з гуми, пінополіуретану і деревини. Значна маса горючих матеріалів входить до складу покривів та ізоляції проводів. Ящик акумуляторної батареї і бруси струмоприймача, розміщені під вагоном, виготовлені з деревини. Горючими є також гумовий і кістковий клей, що застосовується у конструкції вагона, і зовнішня фарба кузова. Пожежне навантаження вагонів становить близько 50 кг·м⁻². Основним джерелом запалювання є електроустаткування вагонів, що розташоване під підлогою вагона, у кабіні машиніста і апаратному відсіку.

Проведений аналіз споруджень і рухомого складу метрополітенів дозволяє говорити про те, що техногенна небезпека метрополітену, яка збільшується наявністю великої кількості людей, що перебувають в умовах обмеженого підземного простору, викликана широким використанням горючих матеріалів, відсутністю нагляду і засобів сигналізації на ряді

об'єктів, а також складністю роботи аварійно-рятувальних підрозділів. Найбільш високе пожежне навантаження і підвищена кількість горючих матеріалів припадає на електрорухомий склад, ескалатори і комори ПММ. Деякі приміщення мають менше пожежне навантаження, але їх небезпека зростає у зв'язку з відсутністю нагляду і засобів сигналізації. До таких приміщень відносяться місця відстою, службово-побутові приміщення та тягово-знижувальні підстанції. Все це ускладнює роботу підрозділів оперативно-рятувальної служби, що поряд з необхідністю евакуації великої кількості потерпілих повинна виконати безліч організаційно-технічних заходів, пов'язаних, у першу чергу, зі зняттям напруги та допуском підрозділів на об'єкт. Оперативні дії з ліквідації надзвичайної ситуації ускладнюються: важкодоступністю більшості небезпечних об'єктів, підхід до яких обмежений складністю конструктивно-планувальних рішень; труднощами в організації зв'язку; високою задимленістю; можливим виходом з ладу кабельних комунікацій, освітлення, вентиляції, ескалаторів, пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів.

1.2. Аналіз надзвичайних ситуацій у метрополітені

Як би добре не були виконані заходи, пов'язані з обмеженням горючого середовища, системою своєчасного виявлення аварійної ситуації, протипожежним водопостачанням та ін., залишається ймовірність виникнення надзвичайної ситуації. У цей час відомо багато прикладів аварій, що сталися на об'єктах метрополітену [32-36].

Найбільш важкими для рятування потерпілих і ліквідації НС є випадки пожежі рухомого складу. Наприклад:

7 липня 1975 р., Бостон, США. Трьохвагонний поїзд метрополітену торкнувся ушкодженого кабелю, що проходить у верхній частині тунелю. Коротке замикання, що сталося, викликало пожежу, при якій після прибуття на станцію один вагон згорів, а інші були пошкоджені. Пожежа вимагала евакуації 400 пасажирів.

15 грудня 1976 р., Торонто, Канада. Пожежа відбулася в тунелі метрополітену і поширилася на весь чотирьохвагонний поїзд. Інтенсивне виділення диму і тепла більше години не дозволяло рятувальникам наблизитися до осередку пожежі. За цей час була проведена евакуація пасажирів поїзда, що був виведений з тунелю на станцію. Частина пасажирів втратили свідомість.

24 жовтня 1978 р., Кельн, Німеччина. Пожежа відбулася в поїзді, що прибув на станцію незадовго до закінчення роботи. Підрозділи пожежної охорони не змогли проникнути на станцію по ескалаторному тунелю через високу температуру продуктів горіння, що виходили на поверхню. Тому на початковому етапі проводилася евакуація пасажирів з вестибюля станції і з ескалатора. Були створені три оперативні ділянки. Пожежні однієї з них спробували проникнути до осередку пожежі через вестибюль аварійної станції в теплоізоляційному спорядженні і з апаратами захисту органів

дихання, але звисаючі елементи покриттів і густий дим змусили групу вернутися. Для видалення диму на виході зі станції працювали три установки димовилучення. Пожежні іншої оперативної ділянки, проникнувши в тунель через запасний вихід, що знаходиться за 200 м від станції, в апаратах захисту дихання більш ніж за 40 хвилин зробили монтаж витяжної труби довжиною 200 м під склепінням тунелю. Після цього з'явилася можливість прокласти рукавну лінію і подати три водяних стволи від внутрішнього протипожежного водопроводу станції. Пожежа була локалізована через 1 годину 10 хвилин, а через 15 хвилин - ліквідована. Дим і висока температура заподіяли електропоїзду і станції значні ушкодження. Збиток склав 1 млн. марок.

15 серпня 1987 року, Москва, СРСР. У результаті несправності електроустаткування в кабіні машиніста хвостового вагона електропоїзда, що перебував у тунелі недалеко від станції "Площа революції", виникла пожежа. Поїзд був виведений на станцію, де була організована евакуація пасажирів співробітниками станції. Спроби машиніста і добровольців із числа пасажирів ліквідувати загоряння за допомогою вогнегасників ВВ-5 успіху не мали. Пожежа охопила салон вагона, де швидко поширилась по горючих матеріалах устаткування і обробки. До моменту прибуття пожежних підрозділів відбувалося горіння двох хвостових вагонів, станція була сильно задимлена, створилася загроза поширенню пожежі по всьому поїзду. Пожежні, застосовуючи засоби індивідуального захисту органів дихання, проклали рукавну лінію і подали ствол до осередку пожежі. Через якийсь час пожежу було локалізовано і ліквідовано.

15 жовтня 1995 г, Баку, Азербайджан. Найбільша катастрофа (289 чоловік загинули і більше 500 чоловік травмовано), пов'язана з пожежею, мала місце в Бакинському метрополітені. Масове отруєння людей відбулося після зупинки поїзда з палаючим вагоном у шляховому тунелі і дезорганізації провітрювання тунелів (вентилятори по обидва боки від аварійного тунелю працювали на витяжку). Пожежні довгий час не могли підійти до осередку пожежі, а евакуювали потерпілих із приміщень станції і з тунелю.

18 лютого 2003 року, Тегу, Південна Корея. Загоряння відбулося в одному з вагонів поїзда. За словами очевидців, чоловік у спортивному костюмі підпалив пакет з горючою рідиною і кинув його у вагон. Коли на місце події прибули рятувальники, станція метрополітену була заповнена токсичним газом, що спричинило втрату свідомості багатьма пасажирами і значно затруднило рятувальні операції. Пожежу вдалося загасити тільки через 3 години після початку загоряння. Усередині обгорілого вагона знайдено 134 тіла, ще 140 чоловік одержали опіки і травми різного ступеня важкості.

Надзвичайні ситуації і аварії в інших спорудах метрополітену характеризуються меншими масштабами, чим пожежі рухомого складу, однак і вони через необхідність евакуації великої кількості пасажирів,

можливе задимлення і високу температуру створюють складності для їх ліквідації. Наприклад:

29 жовтня 1970 року, Париж, Франція. На одному з великих пересадкових вузлів метрополітену виникла пожежа при проведенні вогневих робіт у технічному кабельному тунелі. Пожежа не вийшла за його межі, однак прилягаючі до нього ділянки тунелів і пасажирські приміщення всіх рівнів, що знаходилися вище, інтенсивно задимлялися. Це спричинило отруєння чадним газом пасажирів, яких урятували співробітники метрополітену. Розвідка велася з різних напрямків, у тому числі через вентиляційні спорудження на перегоні. Кабельні комунікації в районі осередку пожежі були ушкоджені вогнем, що призвело до відключення освітлення і зупинки деяких вентиляторів. Ліквідація пожежі тривала близько 9 годин. Більше половини цього часу продовжувався пошук осередку пожежі в умовах темряви і задимлення.

20 серпня 1987 р., Ленінград, СРСР. На станції "Площа О.Невського" виникла пожежа в роздягальні, розташованій під платформою. Горіли меблі і робочий одяг на площі 6 м². Уже через 4-5 хвилин після виявлення пожежі станція була задимлена і продукти горіння по ескалаторному тунелю та вестибюлю виходили назовні. Евакуація пасажирів пройшла успішно і завершилася силами співробітників станції до приїзду пожежних підрозділів. Труднощі ліквідації цієї пожежі були пов'язані зі зняттям напруги, пошуком осередку пожежі та неефективною роботою вентиляції. Проте розбір ситуації показав [15], що вмілі дії співробітників метрополітену на початковому етапі розвитку пожежі не допустили сильного розвитку пожежі та загибелі людей.

17 квітня 1985 р., Тбілісі, Грузія; пожежа на станції "Вокзальна ", коли при виході чотирьохвагоного состава з тупика після нічного відстою пожежа, що виникла в кабіні керування хвостового вагона в результаті короткого замикання силового кабелю на металевий корпус, була виявлена машиністом. Через його недотепні дії ліквідувати загоряння первинними засобами не вдалося. Не змогли це зробити і прибулі згодом співробітники відділу воєнізованої пожежної охорони метрополітену. У результаті до моменту локалізації пожежі викликаними підрозділами міської пожежної охорони вигоріло два вагони.

15 червня 1989 р., Москва, СРСР, на станції "Жовтнева - радіальна" була виявлена пожежа в головному вагоні поїзда. Як потім було встановлено, причиною стало коротке замикання в ящику акумуляторної батареї. Висадивши пасажирів, машиніст поїзда відвів состав у тунель сполучної вітки, де вжив заходи щодо гасіння пожежі, які, однак, успіху не принесли. Як порушення інструкції з дій на випадок НС [5] повідомлення надійшло зі значним запізненням, у результаті чого прибулим підрозділам довелося мати справу із уже розвиненою пожежею. Розвідка і гасіння проводилися в складних умовах - при високій температурі та сильному задимленні. Пожежа була локалізована через 2,5 години після прибуття пожежних.

Ускладнюють роботу рятувальників і співробітників метрополітену часті в останнє десятиліття випадки терористичних актів. Як правило, вони супроводжуються масовою загибеллю і травмуванням людей. Наприклад:

28 лютого 1993 року, Лондон, Англія. На станції «Лондон-Бридж» унаслідок вибуху постраждали 29 чоловік.

19 березня 1994 року, Баку, Азербайджан. У результаті вибуху загинули 14 чоловік, понад 50 одержали поранення.

3 липня 1994 року, Баку, Азербайджан. Унаслідок вибуху в метро загинули 13 чоловік і 42 одержали поранення.

15 і 21 грудня 1994 року, Нью-Йорк, США. Два вибухи в метро: у поїзді, що проїжджав через Гарлем, ніхто не постраждав, а в районі Уолл-Стрит поранення одержали 50 чоловік.

20 березня 1995 року, Токіо, Японія. Зроблено першу масовану атаку терористів із застосуванням газу. 5 бойовиків тоталітарної секти «Аум Синрике» організували акцію в токійському метро, розпорошивши на 16 станціях бойову отруйну речовину зарин. На місці померли 12 чоловік, понад 5500 постраждали (з них близько 3-х тисяч залишилися інвалідами). У цьому випадку рятувальникам довелося організовувати евакуацію з використанням засобів захисту органів дихання. Пожежі не було.

25 липня 1995 року, Париж, Франція. При в'їзді на станцію «Сен-Мішель» у вагоні вибухнув газовий балон, начинений металевією стружкою. У результаті злочинної акції загинули 8 чоловік, понад 80 осіб були поранені.

17 жовтня 1995 року, Париж, Франція. У вагоні підземки на перегоні між станціями «Сен-Мішель» і «Мюзє д'орсе» пролунав вибух. Цього разу обійшлося без смертей, але близько 30 пасажирів звернулися за медичною допомогою.

Квітень 1996 року, Каракас, Венесуела. У столичному метро пролунав вибух: поранено декілька пасажирів, заподіяна велика шкода станції.

23 квітня 1996 року, Нью-Йорк, США. На зупинці «Декальб авеню» після вибухів знеструмлено станцію, почалася паніка, що затрудняла процес евакуації пасажирів. Через 20 хвилин у поліцію подзвонив невідомий, що взяв на себе відповідальність і заявив про три нові бомби, нібито закладені неподалік. Погрози не підтвердилися, але рятувальні команди виконали весь передбачений комплекс робіт.

11 червня 1996 року, Москва, Росія. Близько 21.10 год. на перегоні поблизу станції «Тульська» вибухнула 400-грамова тротилова шашка, яка була закладена під сидіння. У результаті вибуху загинуло 4 людей, 15 чоловік поранено. Усього в момент вибуху у вагоні перебувало більше 50 пасажирів. Пасажири евакуйовані через тунель. Виникла пожежа ліквідована підручними засобами співробітниками метрополітену

19 грудня 1996 року, Санкт-Петербург, Росія. Один пасажир одержав контузію в результаті вибуху, що стався у вагоні підземки на перегоні між станціями «Площа Леніна» і «Виборзька».

29 жовтня 1997 року, Тбілісі, Грузія. Колишній співробітник поліції проніс на собі бомбу, підірвався на станції метро «Дидубе».

3 грудня 1996 року, Париж, Франція. Об'єкт терористів - станція «Порт-Руаяль», де вибухнув 15-кілограмовий газовий балон, начинений металевою стружкою і цвяхами. У результаті теракту загинули 4 чоловік і майже 90 пасажирів були поранені.

24 грудня 1997 року, Санкт-Петербург, Росія. Вибух на закритій через ремонт станції «Адміралтейська». Обійшлося без жертв і руйнувань.

1 січня 1998 року, Москва, Росія. Три робітниці метро одержали поранення внаслідок вибуху саморобної бомби.

27 липня 2000 року, Дюссельдорф, Німеччина. Праві екстремісти пустили в хід радіокеровану бомбу. Під час вибуху в метро постраждали 10 чоловік. Інші успішно були виведені співробітниками станції

5 лютого 2001 року, Москва, Росія. Станція «Білоруська-Кільцева». Вибухнула граната, закладена у світильник вестибюля станції. У результаті вибуху поранено більше 10 чоловік, яких в основному виніс особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів.

4 вересня 2001 року, Монреаль, Канада. Невідомі особи випустили на станції «Берри» сльозоточивий газ. Після евакуації більше 45 чоловік опинилися на лікарняних ліжках.

12 травня 2002 року, Мілан, Італія. Після того, як у метро розірвався газовий балон, почалася пожежа. У результаті успішних дій співробітників метрополітену і пожежних обійшлося без жертв.

6 лютого 2004 року, Москва, Росія. О 13 год. 28 хв. у вагоні поїзда метро на перегоні між станціями "Автозаводська" і "Павелецька" пролунав вибух. Машиніст застосував екстрене гальмування і поїзд зупинився в тунелі, почалася пожежа. Весь тунель був сильно задимлений. У результаті теракту 39 чоловік загинули, 122 людини доставлено в лікарні, ще більше сотні потерпілих одержали допомогу на місці.

У всіх цих випадках основною роботою співробітників метрополітену було гасіння вогнищ первинними засобами пожежогасіння і евакуація пасажирів, а завданням підрозділів оперативно-рятувальних служб, крім евакуації, було рятування потерпілих.

Це підтвердив терористичний акт, який мав місце 29 березня 2010 року в Московському метрополітені. Того дня вранці о 7 год. 57 хв. і о 8 год. 36 хв. за московським часом на станціях «Луб'янка» і «Парк культури» московського метрополітену двома терористками-смертницями дагестанського походження було спровоковано два вибухи (див. фото 1.1, 1.2). В результаті вибухів загинуло 40 і поранено 88 чоловік. Безпосередньо в результаті обох вибухів загинуло на місці 36 чоловік, з них 24 – на станції метро «Луб'янка» і 12 – на станції метро «Парк культури». У наступні дні в лікарнях померло ще четверо людей. Серед постраждалих були громадяни Росії, Таджикистану, Киргизії, Філіппін, Ізраїлю та Малайзії. Відповідальність за вибухи узяв на себе лідер «Кавказького емірату» Доку Умаров.

Перший вибух стався о 7 год. 57 хв. за московським часом на станції «Луб'янка» у другому (по ходу руху) вагоні поїзда «Червона стріла», що

слідував у бік станції «Вулиця Підбельського». У момент зупинки поїзда, безпосередньо перед відкриттям дверей, спрацював вибуховий пристрій, закріплений на жінці, яка стоїть біля других дверей другого вагона. За розповідями очевидців, після першого вибуху евакуація з метро не проводилася, гучномовці передавали повідомлення про затримку руху та рекомендації скористатися наземним транспортом (див. фото 1.3, 1.4). Другий вибух стався о 8 год. 36 хв. на станції «Парк культури» в третьому вагоні поїзда № 45, який прямував у бік станції «Вулиця Підбельського».



Фотографії 1.1, 1.2. Люди, які загинули на станції «Луб'янка»



Фотографії 1.3, 1.4. Покидання пасажирів станцій

За результатами вибухотехнічної експертизи, проведеної фахівцями Федеральної служби безпеки, потужність вибухового пристрою, що спрацював на станції «Луб'янка», склала до 4 кілограмів у тротиловому еквіваленті, а на станції «Парк культури» - від 1,5 до 2 кг у тротиловому еквіваленті. Як показав експрес-аналіз, вибухові пристрої були начинені вибухівкою на основі гексогену з додаванням пластифікатора, тобто пластиду. Як вражаючі елементи використовувалась нарубана на шматки арматура і болти.

Відразу після терактів було перекрито рух поїздів від станції «Спортивна» до станції «Комсомольська». Вибухи виявилися настільки потужними, що вагони частково деформувалися і деяких пасажирів затиснуло між їх конструкціями (див. фото 1.5). На станції «Луб'янка»

співробітникам МНС довелося використовувати гідравлічні ножиці для різання металу, щоб визволити деяких постраждалих. Тих городян, що вижили, виводили з поїзда по коліях.



Фотографія 1.5. Пошкодження вагона

Вже через 10-15 хвилин почав працювати штаб з ліквідації надзвичайної ситуації (див. фото 1.6). Співробітники метрополітену спільно з підрозділами МНС евакуювали зі станцій метро 3,5 тис. чоловік. До ліквідації наслідків вибухів у метро були залучені 657 чоловік і 187 одиниць техніки (по лінії МНС – 342 рятувальники та 100 одиниць техніки). Для відправлення постраждалих в лікарні, крім бригад «Швидкої допомоги», використовувалися санітарні вертольоти, що сідали на Луб'янській площі та Садовому кільці (див. фото 1.7-1.10).



Фотографія 1.6. Робота штабу з ліквідації надзвичайної ситуації

За повідомленнями правоохоронних органів, у зв'язку з вибухами в метро на станціях у Москві було введено план «Вулкан». Крім того, було посилено паспортний режим, міліція переведена на посилений варіант несення служби, збільшена щільність патрульних нарядів на вулицях міста і в метрополітені, до патрулювання в метро були залучені внутрішні війська Міністерства внутрішніх справ Росії. Під особливу охорону було взято аеропорти і вокзали Москви. О 17 год. 09 хв. станцію «Луб'янка» відкрили для пасажирів і метрополітен запрацював у штатному режимі.



Фотографії 1.7-1.10. Проведення рятувальних робіт

Президент та прем'єр-міністр Російської Федерації, а також закордонні експерти відмітили злагоджені дії рятувальників. Всі вони підкреслили, що рятувальні підрозділи спрацювали дуже оперативно та високоефективно. Керівництво МНС РФ вважає, що цьому сприяли регулярні тактико-спеціальні навчання, які щорічно відбуваються в Московському метрополітені після 6 лютого 2004 року (після теракту на перегоні між станціями "Автозаводська" і "Павелецька").

Крім великих пожеж, на об'єктах метрополітену часто бувають випадки загоряння і задимлення, які не спричиняють важких наслідків. Прикладом можуть бути випадки, що трапилися на об'єктах Харківського метрополітену:

13 січня 1996 року. Через руйнування корпусу головного запобіжника і переносу електричної дуги на корпус ящика запобіжників відбулося задимлення станції "Проспект Гагаріна". У результаті загоряння пошкоджено електроустаткування станції.

27 липня 1996 року. У службовому приміщенні на станції "Холодна гора" відбулося запалення газет і торговельного столика, залишених орендарями.

10 вересня 1997 року. Внаслідок короткого замикання в четвертому тяговому двигуні виникло задимлення станції "Історичний музей".

15 листопада 1999 року. У побутовому приміщенні на станції "Маршала Жукова" зайнявся спецодяг, залишений над електрообігрівачем. У результаті високого задимлення робота Холодногірсько-заводської лінії була зупинена майже на шість годин.

14 березня 2006 року відбулося зіткнення потягів на перегоні «Спортивна» - «Завод ім. Малишева ». 6 пасажирів були доставлені в лікарні з травмами.

29 липня 2009 року в 19 год. 28 хв. відбулося відключення живлення контактної рейки на відрізку «Проспект Гагаріна» - «Холодна гора», що призвело до зупинки руху поїздів. Рух було відновлено в той же день о 21 год. 30 хв. Була створена комісія з розслідування причин відключення живлення. За повідомленнями журналістів причиною стала пожежа на одній з підстанцій. Один з поїздів зупинився в тунелі на відстані 300 метрів від станції. Співробітники МНС евакуювали пасажирів із потяга по тунелю.

Надзвичайні ситуації, які могли призвести до більш значних наслідків, не відбулися в результаті ефективних дій рятувальників на початковому етапі проведення аварійно-рятувальних робіт.

Аналіз надзвичайних ситуацій, що сталися в метрополітені [32-36], показав, що ефективність рятування людей і ліквідації надзвичайної ситуації значно залежить від оперативних і вмілих дій як підрозділів пожежно-рятувальної служби, так і співробітників метрополітену на початковому етапі розвитку пожежі. У той же час, найменше зволікання в діях цих служб призводить до швидкого розвитку пожежі й масової загибелі людей.

Як показано на рис. 1.1, основним місцем аварійно-рятувальних робіт особового складу оперативно-рятувальної служби цивільного захисту і персоналу метрополітену, під час виводу, при наявності такої можливості, состава, що горить, з тунелю, будуть підземні спорудження станцій метрополітену та рухомий склад на станції.

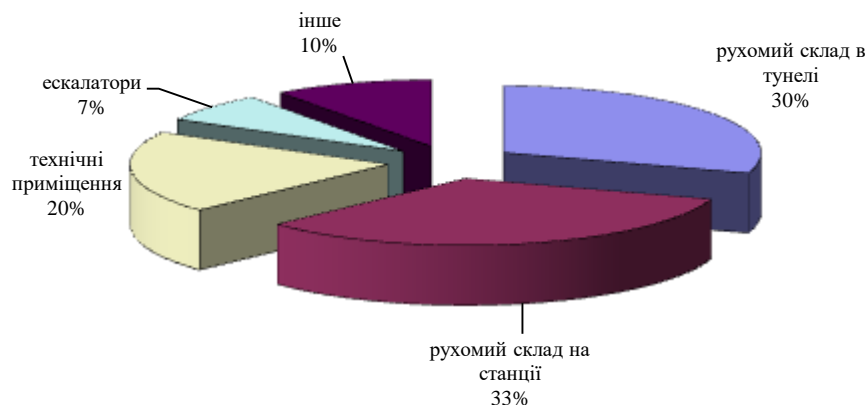


Рис. 1.1. Розподіл НС за місцем їх виникнення

Відзначено, що для пожежно-рятувальних підрозділів основним видом оперативних дій із числа тих, які присутні в їхній роботі в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій на станціях метрополітену (рис 1.2), є рятування потерпілих. Це підтверджує й аналіз розподілу дій особового складу пожежно-рятувальних служб (рис. 1.3), що свідчить про те, що тільки 17% робіт у разі виникнення надзвичайної ситуації пов'язано з безпосередньою ліквідацією причин її виникнення. Інші 83% становлять рятувальні роботи на станціях метрополітену.

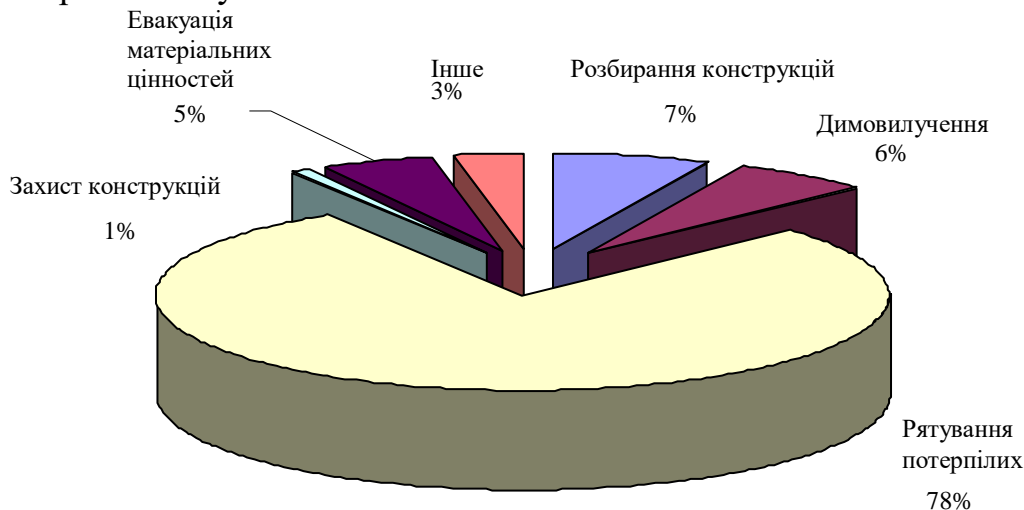


Рис. 1.2. Розподіл видів оперативної роботи при ліквідації НС на станціях метрополітену

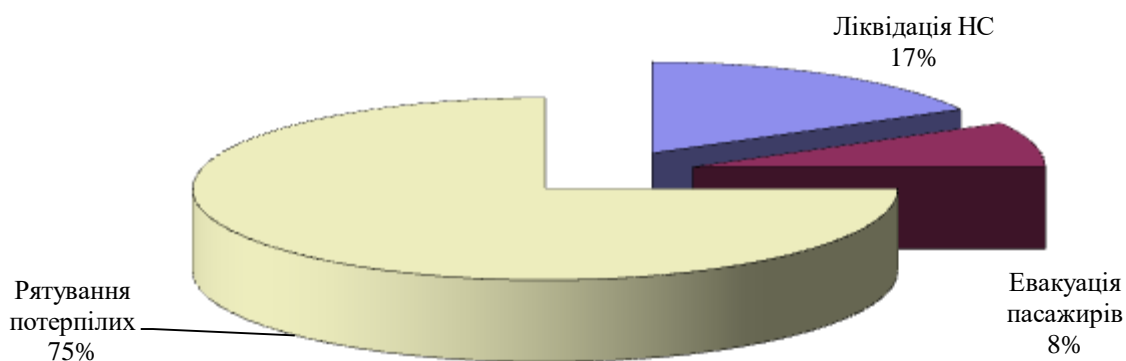


Рис. 1.3. Розподіл дій особового складу оперативно-рятувальних підрозділів під час ліквідації НС на станціях метрополітену

Таким чином, приклади гасіння пожеж і ліквідації інших надзвичайних ситуацій, які мали місце в метрополітені, говорять про високу небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій у метрополітені; про необхідність оперативних, умілих і координованих дій особового складу пожежно-рятувальної служби і співробітників метрополітену; про високу ціну наслідків виникнення аварій і надзвичайних ситуацій; про необхідність оперативних, умілих і координованих дій особового складу пожежно-рятувальної служби та співробітників метрополітену; про те, що

вирішальним напрямком оперативних дій є проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену, а ефективність аварійно-рятувальних робіт у метрополітені визначається діяльністю рятувальників на початковому етапі, що характеризується, у першу чергу, операціями з ліквідації надзвичайної ситуації підручними засобами персоналом метрополітену та проведенням евакуаційних і рятувальних робіт.

1.3. Особливості проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

Зважаючи на те, що станції метрополітену є одними із найскладніших в оперативно-тактичному обслуговуванні об'єктів, можна виділити основні заходи, які забезпечать підвищення ефективності АРР СМ (див. рис. 1.4). Реалізація цих заходів значно знизить техногенну небезпеку споруджень метрополітену, однак у кожному разі при виникненні надзвичайних ситуацій порятунок людей, а також ліквідація пожежі і наслідків надзвичайної ситуації буде залежати від успішних дій співробітників метрополітену та особового складу оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

Екстремальне середовище, в якому діють рятувальники в процесі ліквідації надзвичайної ситуації в метрополітені, характеризується значним віддаленням підземних об'єктів від поверхні [38]; наявністю великої кількості пасажирів [49]; небезпекою виникнення паніки та необхідності евакуації цих людей [50]; великою швидкістю задимлення тунелів і станцій [51]; складністю проведення розвідки [52]; прокладкою рукавних ліній на більші відстані з урахуванням складності планування і наявності вагонів [53]; труднощами організації зв'язку [54]; можливим виходом з ладу кабельних комунікацій, освітлення, тунельної вентиляції, ескалаторів, пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів [55]. Все це поєднано з більшою кількістю організаційно-технічних заходів [1], пов'язаних зі зняттям напруги й допуском підрозділів на об'єкт, а також забезпеченням димовилучення зі всіх споруджень, які виконують співробітники метрополітену [56].

Проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітенів регламентується відповідними нормативними документами [1,57], у яких, поряд з діями рятувальників, розглядаються також питання їх взаємодії з адміністрацією об'єкта та інших служб метрополітену.

Працівники метрополітену при виникненні НС [4,5] негайно сповіщають про це у встановленому порядку чергового по станції, диспетчера центрального пункту пожежного зв'язку служб воєнізованої охорони метрополітену та Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту МНС України. Евакуація й рятування людей, ліквідація НС на підземних і наземних об'єктах метрополітену, а також у рухомому складі, до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів проводиться працівниками метрополітену згідно з посадовими інструкціями [5].

Оповіднення людей проводиться по гучномовному зв'язку станції і вагонів. Для успішної евакуації людей у підземних приміщеннях метрополітену поряд з робочим освітленням передбачене аварійне

(евакуаційне) освітлення, що у разі пожежі або аварії включається співробітниками метрополітену [57].

Під час евакуації пасажирів і персоналу станції система вентиляції повинна працювати в режимі, що забезпечить подачу свіжого повітря назустріч людям, які евакуюються [56].

Гасіння пожежі співробітники метрополітену проводять первинними засобами пожежогасіння, які є на станціях (вогнегасники, внутрішні пожежні крани, стаціонарні установки пожежогасіння).

По прибуттю підрозділи пожежно-рятувальної служби не можуть увійти на об'єкти метрополітену без допуску, що готує і видає їм при зустрічі начальник об'єкта або призначена ним особа [5].

Для ліквідації НС на об'єктах метрополітену створюється штаб оперативно-рятувальних робіт [1,5,57], до якого входять працівники оперативно-рятувальної служби, керівник об'єкта, представник воєнізованої гірничорятувальної служби, інші фахівці метрополітену. Очолює штаб старша посадова особа метрополітену.

Вказівки і розпорядження штабу обов'язкові для виконання посадовими особами та працівниками всіх служб метрополітенів, оперативних служб міста, частин і підрозділів оперативно-рятувальної служби, які залучаються до ліквідації пожеж і аварій. Ефективність ліквідації НС залежить від якості взаємодії між різними службами [5].

Основне завдання всіх служб при НС на станціях метрополітену - пошук і надання допомоги постраждалим [18]. Порядок порятунку людей визначається залежно від конкретних умов НС. Пошук припиняється тільки після виявлення всіх потерпілих, на що, витрачається багато часу через великі площі станцій метрополітену. Тому для пошуку потерпілих і ліквідації НС на станціях метрополітену керівні документи [4,59] вимагають використання ізолюючих апаратів загальної захисної дії не менше двох годин. Однак, оскільки в Україні відбувся перехід підрозділів оперативно-рятувальної служби на використання апаратів на стисненому повітрі (час захисної дії порядку однієї години), виконання даної вимоги (на практиці це означає прибуття особового складу, озброєного регенеративними дихальними апаратами) призведе до значного затягування початку АРР СМ. Тому, за рішенням керівника робіт з ліквідації НС, операції щодо порятунку потерпілих з вестибюля станції, а також з ескалатора можуть проводитися в апаратах на стисненому повітрі [59,60].

ОСНОВНІ ЗАХОДИ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ НА СТАНЦІЯХ МЕТРОПОЛІТЕНУ

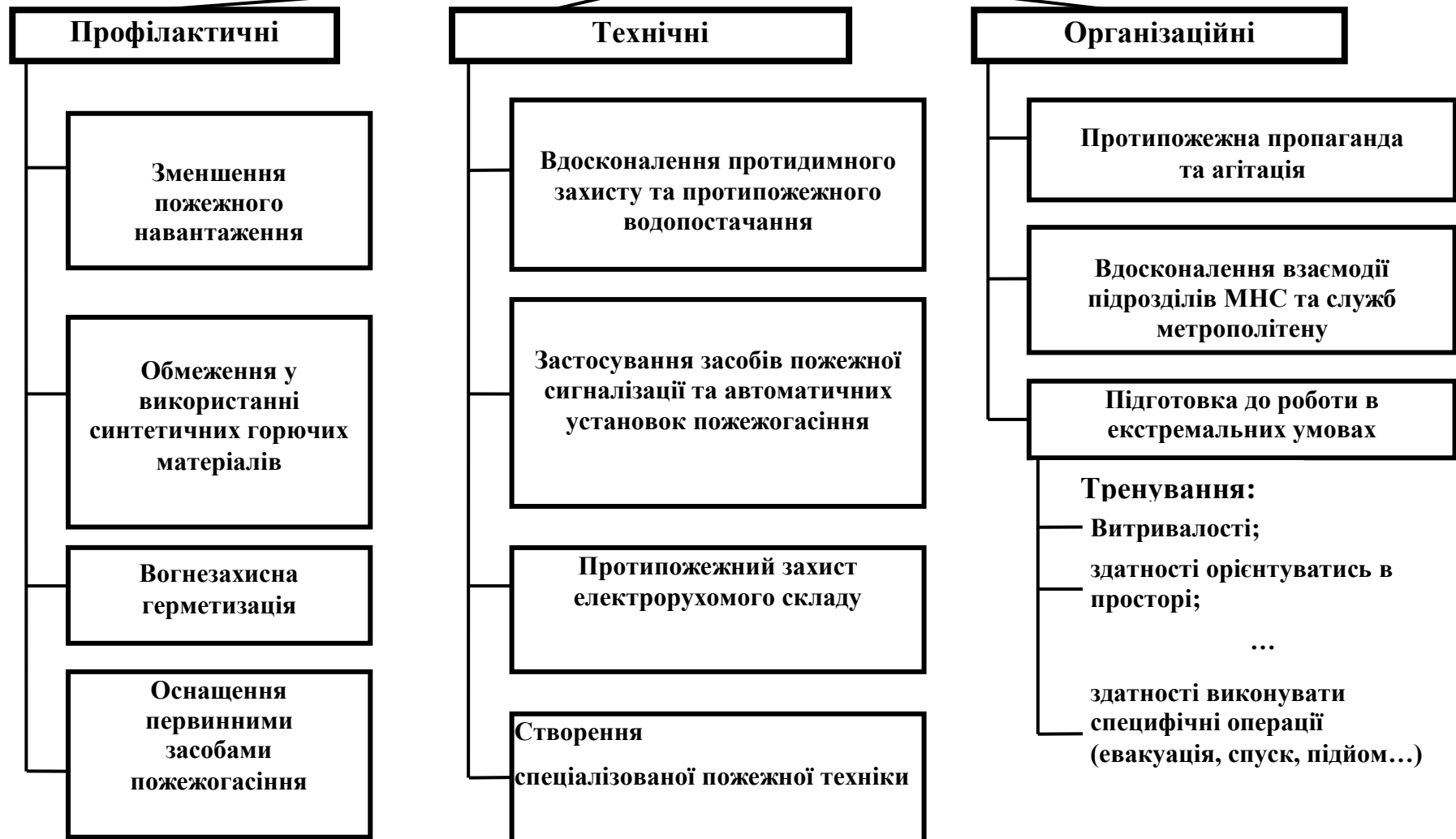


Рис. 1.4. Заходи, що забезпечують підвищення ефективності аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

1.4. Системний аналіз процесу проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

Наведене вище показує, що при розгляді процесу АРР СМ необхідно врахувати безліч компонентів, які включені в нього, а також всю розмаїтість взаємозв'язків, що існують як усередині цього процесу, так і в поєднанні його з іншими процесами та системами.

Процес АРР СМ є складною системою, оскільки відповідає характерним ознакам [61] останньої:

- існує велика кількість підсистем, для кожної з яких визначається мета функціонування, підпорядкована загальним цілям функціонування всієї системи ("людина", "машина", "середовище");
- має ієрархічну структуру зв'язків між загальним критерієм для всієї системи в цілому і частками, локальними критеріями, сформованими для окремих підсистем (включення системи димовидалення впливає як на швидкість пошуку й евакуації потерпілих, так і на швидку прокладку рукавних ліній – останнє ж сприяє скороченню часу гасіння пожежі);
- функціонування системи відбувається в умовах впливу великої кількості випадкових факторів (відмова систем сигналізації метрополітену, випадкові впливи диму та температури, помилки людей, різні технічні характеристики апаратів того самого типу, відмінності в можливостях конкретних людей і т.д.);
- існують внутрішні зв'язки (висока температура і задимленість можуть унеможливити перебування в метрополітені персоналу метрополітену);
- існує необхідність безперервного керування системою (виклик необхідної кількості сил і засобів залежно від того, як розвивається ситуація);
- структура і функціонування системи (прибуття нових підрозділів оперативно-рятувальної служби, зміна температури та щільності диму) постійно змінюються;
- має місце багатокритеріальність керування (рятування людей, ліквідація вогнища НС, зменшення її наслідків і т.д.).

Щоб всебічно досліджувати процес АРР СМ, необхідно вивчити, розглядаючи АРР СМ як складну систему, насамперед його внутрішню будову: установити, з яких компонентів він складається, яка його структура, функції, а також що являють собою фактори, які забезпечують його цілісність [3,37].

Якщо АРР СМ розглядати як функціонування ерготехнічної системи [61,62], то досліджуваний процес може бути представлений у вигляді наступних компонентів: людина, машина, середовище.

При розгляді компонента "людина" ясно, що головним тут є конкретний рятувальник. Це може бути як борець оперативно-рятувальної служби, так і співробітник метрополітену. Людина розглядається не як біологічна істота, а як частина ерготехнічної системи. При цьому враховуються психологічні, психофізіологічні та інші ергономічні аспекти. Розглядаючи і прогножуючи діяльність особового складу оперативно-

рятувальної служби в ході АРР СМ, необхідно враховувати, що дані роботи ведуться при несприятливих умовах для життєдіяльності організму рятувальника. Непридатне для дихання і життя середовище змушує з підвищеним навантаженням функціонувати основні системи, що забезпечують гомеостаз, навіть без виконання фізичної роботи, не говорячи вже про важку і дуже важку роботу, що має місце при пошуку потерпілих, їх транспортуванні, переміщенні до осередку НС на станціях метрополітену.

Порушення вегетативної нервової діяльності сприяє виникненню ситуації дезорієнтації та дезадаптації, що пов'язано із великими об'ємнопланувальними рішеннями метрополітену, розгубленістю, втратою контролю над своїм станом і поведінкою оточуючих, відмовою від проведення рятувальних робіт і робіт з ліквідації НС. Все це може призвести до нещасних випадків. Постійні вольові зусилля, які спрямовані на придушення негативних емоцій, пов'язаних з виконанням обов'язків в умовах високої температури, вологості, задимленості, почуття страху (обвал конструкцій, замкнутий простір і т.д.), необхідність підтримки працездатності на високому рівні для виконання оперативного завдання призводять до швидкого виснаження психофізіологічних резервів організму [61] навіть у професійних рятувальників.

На особливому місці, стосовно компонента "техніка", – засоби захисту органів дихання, які можуть бути як індивідуальними, так і груповими. До засобів індивідуального захисту органів дихання відносяться регенеративні дихальні апарати, які, маючи закриту схему дихання, забезпечують тривале (до чотирьох годин) перебування в непридатному для дихання середовищі, і апарати на стисненому повітрі, що реалізують відкриту схему дихання [59,60]. Останніми оснащені практично всі оперативно-рятувальні підрозділи, які першими прибувають на станцію метрополітену у разі виникнення там НС.

До групових засобів відноситься система вентиляції метрополітену, що при виникненні НС перемикається на аварійний режим і служить для видалення диму, і димососи, які особовий склад оперативно-рятувальних підрозділів використовує в тих випадках, коли стаціонарна система вентиляції не справляється з видаленням диму зі станції.

Крім засобів захисту органів дихання, компонент "техніка" містить у собі пожежні автомобілі, що служать для доставки до місця пожежі особового складу оперативно-рятувальної служби, вогнегасячі речовини й пожежно-технічне обладнання, яке є також складовою частиною компонента "техніка". До пожежно-технічного обладнання відносяться пожежні рукави і рукавне обладнання (всмоктувальні сітки, сполучні головки, розгалуження, водозбірники, ручні та лафетні стволи), ручний немеханізований (пожежні багри, пожежні лопати, гак пожежний, електрозахистні засоби) і механізований інструмент (бензомоторна пила, пневматичні молотки, автогенорізальна ранцева установка) і інші.

На початковому етапі АРР СМ компонент "техніка" визначає швидкість прибуття підрозділів оперативно-рятувальної служби на станцію,

час перемикання системи вентиляції на режим димовилучення і т.д. У ході АРР СМ тактико-технічні характеристики використовуваних технічних засобів вплинуть на час оперативної роботи ланок і відділень ГДЗС, порядок їх зміни на оперативних позиціях, швидкість виконання окремих операцій, обрані оперативно-тактичні прийоми і т.д. На час ліквідації вогнища НС і проведення робіт з ліквідації його наслідків впливають характеристики пожежних стволів і систем водопостачання, засобів малої механізації та ін. Все це говорить про те, що компонент "техніка" впливає на ефективність АРР СМ на всіх етапах розглянутого процесу.

Розглядаючи компонент "середовище", необхідно враховувати, що в процесі АРР СМ воно може бути природним, штучним і соціальним. При цьому природна (яку визначають, як правило, небезпечні фактори НС: погана видимість, висока температура і задимленість...) і соціальна (порятунок постраждалих і матеріальних цінностей, груповий характер роботи, висока небезпека кожного рятувальника...) складові є екстремальними і визначають характеристики як НС, так і процесу її ліквідації. Штучне середовище в розглянутому випадку – це станція метрополітену, яка побудована відповідно до проектної документації і підтримується (або не підтримується) відповідно до існуючих нормативно-технічних вимог керівних документів [1,57].

Розглядаючи взаємодію компонентів "людина - техніка", необхідно враховувати, що, з одного боку, фізіологічні можливості людини визначають тактико-технічні вимоги до засобів захисту (вагу, дозу подачі кисню, показник легеневої вентиляції...), з іншого ж боку, конкретні характеристики пов'язані і з відповідними медичними вимогами до особового складу. Безумовно, екстремальні параметри середовища, у яких доводиться працювати рятувальникам, також визначають тактичні характеристики пожежно-технічного озброєння. Так, показник легеневої вентиляції в технічних характеристиках апаратів АСВ-2 рекомендується [59] 30 л/хв., але під час роботи на станціях метрополітену, навіть при виконанні завдань середньої ваги (спуск по нерухомому ескалатору), значення цього показника істотно підвищується.

До числа найнебезпечніших факторів пожежі, що несприятливо впливають на організм рятувальника (розглядаючи взаємозв'язок компонентів "людина - середовище"), а, отже, і на ефективність його діяльності, відносяться так звані хімічні фактори "виробничого" середовища. Це продукти розкладання пластичних мас вагонів електрорухомого складу, повного і неповного згоряння різних речовин, набір яких може бути досить різноманітним, однак ряд компонентів присутній постійно. Насамперед, це двоокис і окис вуглецю. Одночасно відбувається вплив "людини" на середовище.

Таким чином, процес аварійно-рятувальних робіт, зумовлений НС у метрополітені, являє собою єдину функціонально цілу складну систему "рятувальник - засоби порятунку і захисту - екстремальне середовище на станціях метрополітену" (СРЕСМ), що забезпечує рятування людей, у тому

числі з непридатного для дихання середовища, ліквідацію НС, підтримку прибулих підрозділів оперативно-рятувальної служби і персоналу метрополітену, а також спеціальної техніки в стані готовності й т.д.

Успішне проведення АРР СМ залежить від правильної організації процесу функціонування СРЕСМ, що враховує як послідовність виконання операцій, так і можливості рятувальників, у тому числі пов'язані з рівнем підготовки до використання існуючих засобів рятування і захисту, а також відповідністю станції нормативним вимогам і якістю взаємодії різних служб і відомств. При цьому основним завданням рятувальників у процесі ліквідації НС у метрополітені є порятунок людей, яких може бути досить багато.

Висновки з першого розділу

1. Аналіз надзвичайних ситуацій, які мали місце на об'єктах метрополітену, показує високу ціну ліквідації наслідків НС. Вирішальним напрямком оперативних дій є проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену. При цьому їх ефективність визначається результатами діяльності рятувальників на початковому етапі, що залежить від операцій з ліквідації надзвичайної ситуації підручними засобами і проведення евакуаційних і рятувальних робіт. Останні можуть проводитися як у регенеративних дихальних апаратах, так і в апаратах на стисненому повітрі.

2. Небезпека виникнення надзвичайної ситуації викликана наявністю великої кількості людей, що перебувають в умовах обмеженого підземного простору, широким використанням горючих матеріалів, відсутністю нагляду і засобів сигналізації на ряді об'єктів, а також складністю роботи в умовах НС співробітників метрополітену і підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. АРР СМ ускладнюються важкодоступністю більшості небезпечних об'єктів, у тому числі тих, де можуть перебувати люди. Це викликано складністю конструктивно-планувальних рішень станції, високим задимленням і температурою, можливим виходом з ладу кабельних комунікацій, освітлення, вентиляції, ескалаторів, пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів.

2. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕРГОНОМІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ РЯТУВАЛЬНИКІВ

2.1. Визначення особливостей проведення ергономічного дослідження

Проведений аналіз АРР СМ свідчить про те, що вдосконалення розглянутого процесу вимагає знання закономірності діяльності рятувальників в умовах комплексного впливу небезпечних факторів можливої НС, що збільшується складністю конструктивно-планувальних рішень розташованого під землею комплексу споруд і пристроїв. При цьому повинні бути враховані особливості використання різноманітних засобів індивідуального захисту (робота в яких потребує від рятувальників відповідної фізичної, психологічної, психофізіологічної і тактичної підготовки), взаємодія особового складу оперативно-рятувальної служби, персоналу метрополітену, медиків та ін., ступінь відповідності станції існуючим нормативно-технічним вимогам.

Зважаючи на те, що предметом ергономіки як науки є вивчення системних закономірностей взаємодії людини або групи людей з технічними засобами, об'єктами трудової діяльності і середовищем у процесі досягнення поставленої мети діяльності [110], закономірності діяльності рятувальників у системі «людина - засоби порятунку і захисту - екстремальне середовище» на станціях метрополітену необхідно розглядати з ергономічних позицій.

Дослідження систем «людина-машина-середовище» у нашій країні проводяться більше 40 років. Ананьєв Б.Г., Ахутін В.М., Аперов А.Т., Венда В.Ф., Войненко В.М., Гаврилов Е.В., Галактіонов О.І., Герасимов Б.М., Губинський А.І., Зараковський Г.М., Зінченко В.П., Євграфов В.Г., Кобзєв В.В., Корольов В.О., Крилов А.О., Лавров Є.А., Леонтєв О.М., Ломов Б.Ф., Львов В.М., Людвичек К.В., Маньшин Г.Г., Медведєв В.І., Муніпов В.М., Падерно П.Й., Павлов В.В., Суходольський Г.В., Чабаненко П.П., Шлаєн П.Я., Фокін Ю.Г. і багато інших учених сформулювали науковий напрямок «Ергономіка» як «галузь знань, що комплексно вивчає трудову діяльність людини в системах «людина - техніка - середовище» з метою забезпечення її ефективності, безпеки й комфорту» [109].

Результати системного аналізу, наведені в 1.4, дозволяють розглядати СРЕСМ у вигляді конкретної ергативної системи (напрямок 2) [110]. За характером субординації та особливостей виконання поставлених завдань процес функціонування СРЕСМ можна віднести до експлуатаційних військових систем (напрямок 2.4.3). У той же час, науково-методичний апарат, розроблений П.П. Чабаненком [111-113] стосовно до цього напрямку, використовувати не можна, оскільки він опирається на використання закономірностей, властивих діяльності операторів. Як не можна використовувати і результати Godindaraj T. [114], у яких узагальнюються питання щодо ухвалення рішення про дії керівника як контролера під час лісової пожежі.

Таким чином, розглядаючи військовослужбовця як людину-оператора автоматизованої системи керування, військові експлуатаційні СЛМ (напрямок 3.3.) досліджували Зараковський Г.М. [115,116], Євграфов В.Г. [117,118], Фокін Ю.Г. [119,120], Людвичек К.В. [121]. Однак особливості, пов'язані з фізико-моторною діяльністю, вони не аналізували. Зігель А. і Вольф Дж. [61], Мейстер Д., Рабідо Д.[108], Кальченко Є.М. [109] розглядали діяльність військових фахівців як людей, які в екстремальних умовах впливу зовнішнього середовища за допомогою ручного або механізованого озброєння виконують поставлені завдання щодо його підготовки та підтримки в стані готовності, а також наступного застосування. Проте моделі, що прогнозують працездатність людини, практично не враховують (за винятком показників надійності) характеристики обладнання.

З комплексних позицій процес АРР як процес функціонування складної системи «людина-машина» розглядали Ю.О. Абрамов, Е.Ю. Прохач, В.М. Стрілець, В.Н. Чучковський [23,71,72]. Вони відзначили, що для об'єктивної оцінки такого процесу необхідно проаналізувати велику кількість взаємозалежних проміжних робіт, які забезпечують гасіння, евакуацію й порятунок (при необхідності) потерпілих. Сукупність цих дій становить складну динамічну керовану систему, дослідження якої доцільно проводити за допомогою відповідної імітаційної моделі.

Вищесказане дозволяє зробити висновок про те, що обраний об'єкт дослідження (СРЕСМ) не є новим для ергономіки. У той же час, діяльність рятувальників у СРЕСМ можна розглядати як новий предмет дослідження.

Так, наприклад, з позицій ергономічних вимог (аспект А за градацією проф. Ашерова А.Т.) питання організації діяльності людини (п.2) у більшості вчених досліджуються тільки стосовно до операторської діяльності. Навіть якщо розглянутий фахівець не є безпосередньо оператором АСУ, його однаково розглядають як оператора. Губинський А.І.[122] у такий спосіб вивчав працю космонавтів, Гаврилов Е.В. [123]- водіїв, Євграфов В.Г. [117] - капітана морського судна й т.д.

Ергономічними вимогами можна вважати вимоги [12-16] до подачі повітря при перевірці ізолюючих апаратів на стенді-імітаторі дихання. Однак при цьому особливості, властиві діяльності рятувальників при проведенні АРР СМ, не розглядаються і не враховуються. Хоча, наприклад, Haber Philip [124] відзначав, що робота в ізолюючих апаратах не тільки погіршує периферичний зір і ускладнює мовне спілкування, але й підсилює навантаження на дихальну (не подає, проте, кількісних характеристик) і серцево-судинну системи.

Стосовно до операторів аналізуються і питання організації СЛМ (п.1 аспекту А). Хоча і Ломов Б.Ф. [125], і Муніпов В.М. [126], і Д. Мейстер [108] відзначають, що ергономічна оцінка організації СЛМ, незалежно від характеру діяльності людини, являє собою випробування і оцінку з погляду людського фактора, реальні результати говорять про те, що питання механізованої діяльності, особливо в екстремальних умовах, залишилися нерозкритими. Про це ж говорить і те, що в п.4, п.5 аспекту А сама назва

предметів дослідження підкреслює те, що вони стосуються тільки операторської діяльності. Науково-методичний апарат, розроблений П'ятибратовим О.П. [127] і Смирновим Б.А. [128] для дослідження особливостей населеності операторів, також не підходить для аналізу роботи рятувальників у непридатному для дихання середовищі.

З позиції етапів ергономічного забезпечення (аспект Б) для дослідження закономірностей діяльності рятувальників у ході АРР СМ не підходять принципи і методи моделювання (п.б), розроблені стосовно до того або іншого виду операторської діяльності. Так, узагальнений структурний метод [122], розроблений проф. Губинським А.І., орієнтований на вирішення завдань визначення параметрів вирішального шляху в просторі станів, коли функціонування системи задане у вигляді алгоритмічної моделі діяльності.

Смирнов Б.А. [128] і Людвичек К.В. [121] розробили моделі обслуговування, у яких розглядається робота операторів АСУ в умовах потоку розв'язуваних завдань, що носить випадковий характер. При цьому на результати діяльності значно впливає не тільки характер розв'язуваних завдань, але і їх взаємодія між собою. Розроблені моделі враховують дефіцит часу оператора, перевантаження оперативної пам'яті, виникнення напруженості в роботі і т.д., однак специфічні характеристики (швидкість руху, час виконання окремих операцій при виконанні роботи різного ступеня важкості і т.д.), що властиві рятувальникам, не розглядаються.

Зігель А. і Вольф Дж. [61] розробили дві різні моделі групового поведіння в СЛМС. Перша пов'язана з моделюванням діяльності одного або двох номерів оперативного розрахунку. Вона знайшла застосування при імітації таких процесів, як посадка літака, запуск ракети, виявлення підводного човна та інші. Друга із цих моделей розрахована на імітування більш складних систем, що охоплюють діяльність значної кількості людей, які працюють на декількох незалежних постах. Обидві моделі використовуються для подання систем, що складаються з устаткування і певного числа номерів оперативного розрахунку, які контролюють його роботу і керують ним. Відмітною рисою моделей є використання психологічно орієнтованих змінних. Поряд з даними про обладнання, оперативні завдання, пости безпеки обчислюються такі змінні, як темпова напруженість, кваліфікація, моральні якості окремих номерів оперативного розрахунку, можливі рішення, спаяність, психосоціальна ефективність і спрямованість. Однак детермінованість послідовності дій персоналу і відсутність підходів до обліку особливостей його діяльності в умовах екстремального впливу середовища не дозволяють спиратися на моделі групової поведінки для вивчення закономірностей діяльності рятувальників у системі «людина - засоби рятування і захисту - екстремальне середовище» на станціях метрополітену.

Таким чином можна зробити висновок про те, що розкриття закономірностей діяльності рятувальників у процесі функціонування СРЕСМ є одним з таких завдань ергономіки, яке вимагає свого розв'язання.

2.2. Аналіз існуючих підходів до дослідження процесу ліквідації надзвичайної ситуації в метрополітені

Не розглядалися з комплексних позицій закономірності діяльності рятувальників у ході АРР СМ і в інших дослідженнях, пов'язаних з ліквідацією надзвичайної ситуації в метрополітені. Так, у роботах [43,47,63,64] у результаті дослідження інтенсивності тепловиділення об'єктів метрополітену проаналізовані особливості зміни температурного режиму під час виникнення пожежі у вагоні [47,63] або на станції [43,64]. Відзначено, що під час пожежі, яка розвивається, у районі осередку температура буде настільки високою, що особовий склад, якому буде поставлене завдання його ліквідації, повинен працювати в спеціальних теплозахисних костюмах.

Колектив під керівництвом В.Н. Петренка вивчив особливості розвитку пожежі в ескалаторному тунелі [65]. В основі їх роботи було математичне моделювання конвективних потоків гарячого повітря в тунелі, що розглядався як похила труба. Основні оперативні-тактичні рекомендації пов'язані з видаленням диму.

С.Ю. Потетюєв [66] розглянув особливості поширення повітряних потоків у тунелях між станціями й дав рекомендації щодо роботи системи вентиляції в аварійних режимах. У роботах С.Г. Єфімова і Ю.І. Виноградова [49] вивчені питання утворення і поширення диму по об'єктах станції метрополітену. У результаті запропоновані тактичні рекомендації, пов'язані з димовидаленням. В.В. Ільїн [50,64] аналітично оцінив необхідний час евакуації.

В.П. Беляцький і Г.П. Павлов вивчили [18] особливості розрахунку часу роботи в РДА ланок і відділень ГДЗС при гасінні пожеж у метрополітені. Ними була показана доцільність використання подвійного запасу кисню при використанні ізолюючих апаратів із закритою схемою дихання. У той же час, вони не враховували індивідуальні особливості рятувальників, а також спосіб подачі газоповітряної суміші, що реалізовано у конкретному ізолюючому апараті.

Комплексний характер носять оцінки, отримані в результаті тактико-спеціальних навчань, які проводяться в метрополітені [30,31]. У цьому разі створюються ситуації і виконуються операції, які найбільше наближені до тих, що мають місце у випадку виникнення реальної НС. У той же час, організація навіть одного повномасштабного дослідного тактико-спеціального навчання в умовах діючого метрополітену пов'язана зі значними труднощами. Практика проведення таких навчань [30,31] показує, що вони проводяться при значному спрощенні обстановки і дають достовірні дані лише з окремих видів оперативної роботи. Проте навіть при цьому вони дозволяють виявити ситуації, які вимагають свого подальшого вивчення. Зокрема, під час навчань у м. Дорфкерн (Швейцарія) [129] було відзначено, що час роботи рятувальників в тунелі був значно меншим за той, який повинен був бути при використанні легеневої вентиляції, що рекомендується

BS EN 137:2006 [16]. Однак конкретні показники витрати повітря наведені не були.

Не дозволяють оцінити вплив результатів діяльності рятувальників на ефективність функціонування СРЕСМ і існуючі методи математичного моделювання. Більшість із них описують завдання зміни того або іншого небезпечного фактора. В.Ф. Бондарев і В.Г. Смоляков [67] розробили математичну модель для оцінки обстановки на пожежі в ескалаторному тунелі, однак у ній відсутні перемінні, які б безпосередньо характеризували діяльність рятувальників, пов'язану з порятунком потерпілих і ліквідацією НС. Методи математичного моделювання, розроблені академіком М.М. Брушлинським і його учнями [68-70], описують оперативно-службову діяльність і, опираючись на теорію імовірності, вимагають досить повної вибірки вихідних даних, отриманих у результаті реальної оперативної роботи особового складу. Зважаючи на те, що НС у метрополітені відбуваються, з позиції математичної статистики, не так часто, науково-методичний апарат М.М. Брушлинського застосувати для опису функціонування СРЕСМ із урахуванням результатів діяльності певних рятувальників не можна. Складність математичного моделювання СРЕСМ викликана особливостями цього процесу, розглянутими в 1.2. Насамперед до них відноситься свобода дій особового складу в рамках виконання поставленого перед ними приватного завдання, мінливість структури СРЕСМ у кожному конкретному випадку, багатокритеріальність розглянутого процесу і нечітке завдання самих критеріїв, вплив великої кількості випадкових факторів.

Імітаційне моделювання на ЕОМ дозволяє одержати повні дані про часові характеристики функціонування розглянутої системи на підставі великої кількості експериментів при різних вихідних даних. Головною перевагою імітаційних моделей є можливість багаторазового відтворення окремих реалізацій процесу з наступною статистичною обробкою одержуваних результатів.

У той же час, метод імітаційного моделювання діяльності особового складу пожежної охорони, розроблений у роботах П.А. Ковальова [52,69,73], В.М. Стрільця [62], В.Н. Чучковського [71], де в основу покладені мережні моделі окремих етапів гасіння пожежі, а також розвиток його у роботах В.Г. Аветисяна і В.М. Стрільця [74,75], коли при описанні аварійно-рятувальних робіт з рятування потерпілого з-під завалу допускається імовірнісний характер розвитку ситуації, не дозволяють розглядати у цій моделі випадки, які мають місце у СРЕСМ: тупики (події, крім кінцевих, з яких не виходить жодна дія; наприклад, випадок прибуття керівництва метрополітену після закінчення аварійно-рятувальних робіт), замкнутий цикл (наприклад, зміна газодимозахисників на оперативних ділянках у результаті закінчення запасу газоповітряної суміші) і умовні переходи (наприклад, організація допуску оперативно-рятувальних підрозділів на станцію, де відбулася НС).

Модель оперативних дій пожежних підрозділів, розроблена А.С. Даниленком [70] для гасіння пожежі вагона, що перебуває на платформі,

не розглядає питання порятунку пасажирів і співробітників метрополітену, події в ній не мають імовірнісного характеру. Крім цього, у моделі не передбачається облік особливостей, що характерні діяльності рятувальників, які мають різний рівень підготовки або оснащені різними типами пожежно-технічного обладнання.

Науково-методичний апарат, що використовує мережі Петрі, який В.Ф. Бондарев і В.В. Семенов [24] застосували для імітаційного моделювання оперативних дій щодо гасіння пожежі ланкою ГДЗС на електропідстанції метрополітену, не підходить для більшості інших аварійних і надзвичайних ситуацій у метро, які носять імовірнісний характер розвитку ситуації. Зокрема, процес функціонування СРЕСМ може розвиватися не кожним з можливих шляхів (після виносу потерпілого в безпечне місце ланка ГДЗС може повернутися назад на станцію для продовження АРР відразу або після заміни ізолюючих апаратів, а може бути і залишена керівництвом штабу з ліквідації НС на свіжому повітрі). Крім цього, особливостями мереж Петрі [24,76,77] є те, що перехід не дозволяється, якщо вхідна функція не має достатньої кількості маркерів, тобто не виконані всі умови. Маркер повинен бути поміщений у кожному з його вихідних позицій. Однак при АРР СМ необхідні операції реалізуються як при виконанні повного набору умов, так і при неповному виконанні деяких з них (наприклад, співробітники станції повинні включити ескалатори на підйом, однак пасажирів можуть евакуюватися і по виключених ескалаторах).

Відзначені недоліки існуючих методів імітаційного моделювання, стосовно до СРЕСМ, можуть бути усунуті за допомогою апарата Є-мереж [78], що складається із чотирьох елементів: безліч позицій P , безліч переходів T , вхідних I та вихідних функцій O . Вхідна функція I відображає перехід t_j у безліч позицій I (t_j), які називають вхідними позиціями переходу. Вихідна функція O відображає перехід t_j у безліч позицій O (t_j), які називають вихідними позиціями переходу.

Характерною рисою цього апарата є введення додаткових елементів, що представляють собою макропозиції. Останні являють собою деякі підмережі, які на верхньому рівні можна розглядати як прості позиції. Однією з найважливіших макропозицій, що вводяться в Є-мережах, є генератор, який являє собою крайову некінцеву позицію мережі, що забезпечує появу маркерів у часі відповідно до якого-небудь закону. В [79-81] показано, що можна застосовувати як постійну періодичну генерацію, так і генерації, засновані на будь-яких законах випадкового розподілу (рівномірного, нормального, експонентного, Пуассона, Ерланга...).

Використання імітаційного моделювання на ЕОМ дозволяє оцінити вплив на час виконання конкретної операції або процесу обраних факторів. При цьому не розглядаються ефекти взаємодії між окремими важливими факторами. Для обліку останніх імітаційний експеримент повинен проводитися відповідно до заздалегідь обраного плану.

Створення імітаційної моделі, у якій відбиті закономірності організації функціонування СРЕСМ, вимагає наявності вихідних даних, що дозволяють

у будь-який момент описати діяльність того або іншого рятувальника при виконанні конкретної операції розглянутого процесу. Такі вихідні дані можуть бути отримані як у результаті фізичного моделювання [30,31], так і в результаті використання експертних оцінок [82-85].

Поряд з тактико-спеціальними навчаннями [31], особливості проведення яких розглянуті були раніше, для одержання експериментальних даних у ході фізичного моделювання використовують практичні заняття в теплодимокамері [30] або на інших натуральних макетах [7,86,87]. Діяльність рятувальників при цьому буде досить повно наближена до реальних умов, які мають місце в процесі ліквідації НС. За результатами фізичного моделювання можна досліджувати часові, а також пов'язані з ними швидкісні характеристики виконання окремих операцій або їх комплексів, використовуючи статичні методи, оскільки випробувані виконують однотипні операції в схожих умовах.

При цьому недостатньо обмежитися тільки розглядом середнього часу виконання типових операцій, а також і мінімальних, і максимальних значень, як це було зроблено в ході дослідження під керівництвом В.П. Беляцького [18] оперативно-тактичних особливостей гасіння пожеж на об'єктах метрополітену. Можна припустити, спираючись на результати дослідження П.А. Ковальова [73] і В.Н. Чучковського [71] закономірностей діяльності пожежних, що розподіл часу виконання операцій, характерних для функціонування СРЕСМ, будуть скошеними. За ступенем скошеності можна оцінити [88] про рівень підготовленості рятувальників.

Відмінною рисою діяльності особового складу оперативно-рятувальної служби в процесі функціонування СРЕСМ є використання ізолюючих апаратів. Одержати вихідні дані для аналізу швидкостей витрати запасу газоповітряної суміші можна в результаті фізичного моделювання, основу якого становить проведення натурних експериментів у ході тактико-спеціальних навчань на станціях метрополітену, оскільки до їхнього проведення залучається досить велика кількість газодимозахисників, які працюють у складі ланок і відділень ГДЗС [30,31], тобто виконують однотипні операції. Уточнити показники, що характеризують роботу в засобах індивідуального захисту органів дихання, можна в підсумку аналізу результатів практичних занять в ізолюючих апаратах, які проводяться з особовим складом оперативно-рятувальної служби не рідше одного разу на місяць [59].

Для тих операцій, які не будуть досліджені методом фізичного моделювання, закономірності їх виконання можуть бути отримані одним з методів експертних оцінок [83,89]. Для аналізу діяльності рятувальників удосконалений метод ранжування один по одному [85] використовувався Д.Ю. Каскевичем і В.М. Стрільцем у ході дослідження набору професійно-важливих якостей, необхідних для виконання конкретного виду оперативної роботи, що виконують пожежні. Недоліком такого підходу стосовно до одержання закономірностей діяльності рятувальників у ході АРР СМ є те, що він враховує лише психофізіологічні якості рятувальників і не дозволяє

оцінити, як на ефективність АРР впливають підготовленість рятувальників, їх технічна оснащеність, ступінь відповідності станції прийнятим вимогам.

Для визначення часових характеристик (при цьому враховується вплив всіх факторів у комплексі) виконання конкретної операції використовують метод безпосередньої експертної оцінки [89]. Останній використовувався в роботах В.Н. Чучковського [69] і В.М. Стрільця [84] для оцінки результатів виконання окремих тактичних дій пожежними. Однак модифікований метод безпосередньої експертної оцінки [89], коли спочатку розраховуються часові характеристики одновершинного розподілу, які пропонує конкретний експерт, а потім перевіряється погодженість експертів, припускає досить велику кількість проміжних обчислень, тобто доцільно вдосконалити спосіб безпосередньої експертної оцінки тимчасових характеристик виконання операцій АРР СМ.

Висновки з другого розділу

1. Процес АРР СМ, зумовлений НС у метрополітені, являє собою функціонування системи «рятувальник - екстремальне середовище» на станціях метрополітену, що забезпечує порятунок людей, у тому числі з непридатного для дихання середовища, і ліквідацію надзвичайної ситуації. Вдосконалення розглянутого процесу вимагає знання закономірності діяльності рятувальників у розглянутій системі.

2. Існуючий науково-методичний апарат оцінки професійної діяльності в екстремальних умовах недостатньо повно враховує особливості, пов'язані з функціонуванням СРЕСМ: велику кількість різноманітних умов і замкнутих циклів, вплив великої кількості випадкових факторів, відмінності у виконанні рятувальниками окремих операцій в ізолюючих апаратах, пов'язані зі специфікою витрати запасу газоповітряної суміші при роботі в метрополітені та ін.

3. В основу розкриття закономірностей діяльності рятувальників у системі «рятувальник – засоби захисту та проведення невідкладних робіт – надзвичайна ситуація в метрополітені» доцільно покласти використання імітаційного моделювання цієї системи на базі застосування науково-методичного апарату Є-мереж. Вихідні дані для імітаційної моделі можуть бути отримані як за результатами фізичного моделювання, так і в результаті використання експертних оцінок. При цьому результати фізичного моделювання також дозволять визначити ергономічні закономірності виконання рятувальниками типових операцій.

3. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «РЯТУВАЛЬНИК – ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ТА ПРОВЕДЕННЯ НЕВІДКЛАДНИХ РОБІТ – НАДЗВИЧАЙНА СИТУАЦІЯ В МЕТРОПОЛІТЕНІ»

3.1. Вибір основних характеристик і показників для опису моделі

Створення імітаційної моделі СРЕСМ вимагає аналізу у взаємозв'язку різних ситуацій, які можуть виникнути під час пожежі або іншої надзвичайної ситуації на станції метрополітену, для того, щоб виділити спочатку основні характеристики, а потім і відповідні показники, які повинні бути реалізовані в термінах апарата Є-мереж.

Хід АРР СМ може бути представлений у вигляді, що наведений на рис. 3.1. Початком аварійно-рятувальних робіт є подія «Виявлення надзвичайної ситуації». Закінчуються АРР СМ ліквідацією наслідків і оглядом місця НС із метою розробки заходів, які знизять імовірність виникнення НС надалі і будуть сприяти кращій роботі рятувальників.

Проведений аналіз [3,4,5,18,37] показує, що при будь-якому розвитку подій, незалежно від того, де виникає НС, початок функціонування СРЕСМ будуть визначати дії співробітників метрополітену. Так, при виникненні пожежі в рухомому складі саме машиніст визначає місце, у першу чергу станцію, де будуть проводитися АРР, передає інформацію на центральний диспетчерський пункт, намагається не створити умов для виникнення паніки серед пасажирів. У разі виникнення НС на станції черговий дає команди, щоб усі ескалатори стали працювати на підйом, а персонал станції організує евакуацію і приступає до ліквідації НС первинними засобами.

Умовно процес функціонування СРЕСМ можна розділити на чотири взаємозалежних блоки:

- 1) проведення заходів щодо ліквідації НС первинними засобами;
- 2) організація евакуації пасажирів і співробітників метрополітену;
- 3) організація штабу аварійно-рятувальних робіт;
- 4) робота оперативно-рятувальних підрозділів цивільного захисту, які прибувають до місця НС, для порятунку тих, хто не був евакуйований раніше, і ліквідації осередку НС.

Питання ліквідації наслідків і огляду місця НС у даному дослідженні розглядатися не будуть, оскільки вони безпосередньо не пов'язані з діяльністю рятувальників.

Перший умовний блок, як правило, починається з моменту прибуття поїзда на станцію. У кабіні машиніста є вогнегасники [1,57], якими він моментально приступає до гасіння пожежі. У свою чергу працівники станції, що підбігли до палаючого поїзда, приступають до ліквідації пожежі пересувними вогнегасниками, які знаходяться на платформі [1,57].

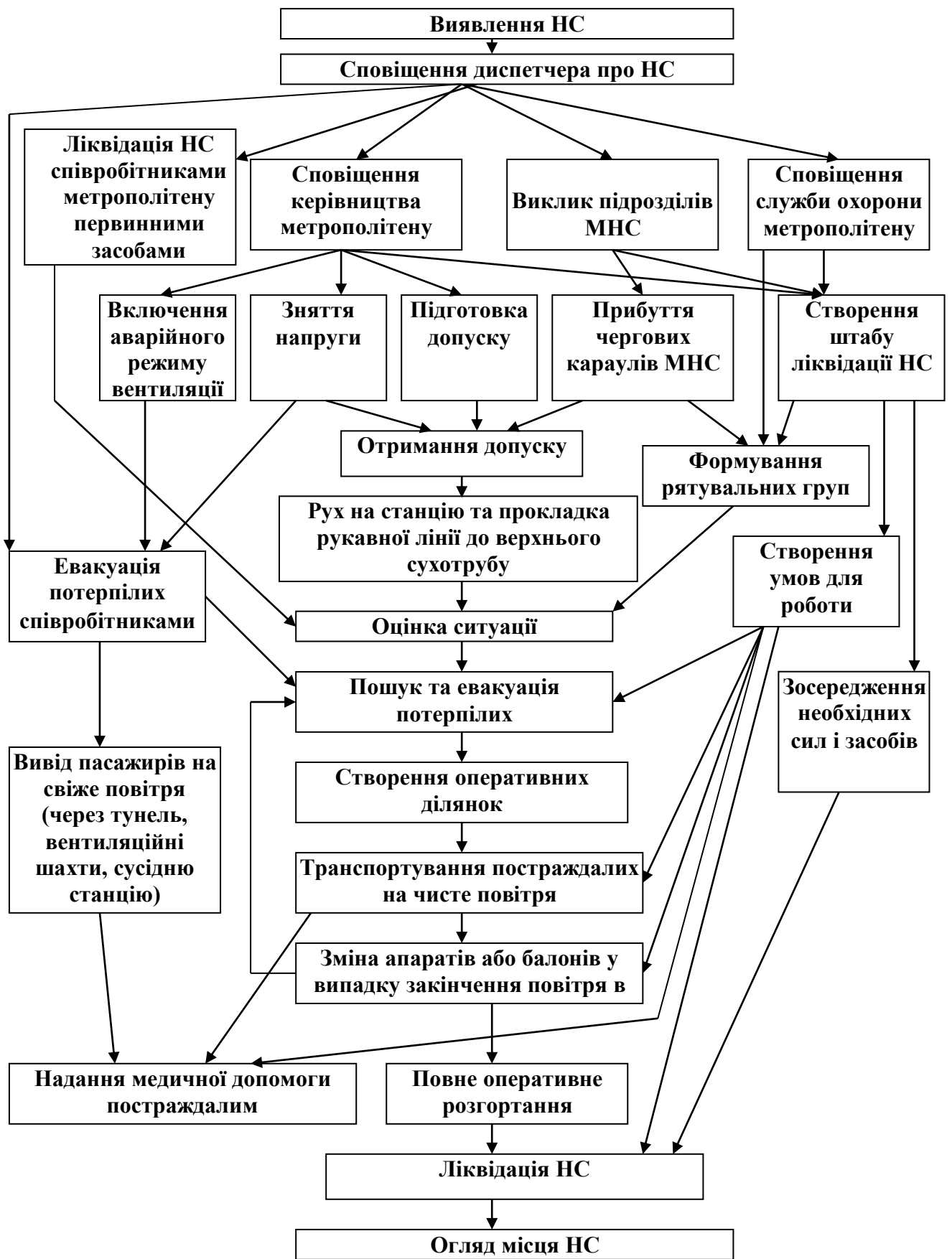


Рис. 3.1. Сукупність заходів, які проводяться в процесі аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

У ході гасіння пожежі за допомогою вогнегасників можуть виникнути такі ситуації: пожежа погашена; пожежа не погашена, але ще залишився заряд у вогнегасниках; пожежа не погашена і не залишилося заряду у вогнегасниках. Проаналізувавши ситуації, співробітники метрополітену повинні прийняти відповідні рішення, які визначать їх подальші дії. Так, крім вогнегасників, на станціях метрополітену є інші первинні засоби пожежогасіння, наприклад, пожежні крани. Тому, коли заряд у вогнегасниках закінчиться, співробітники метрополітену можуть подати ствол на гасіння пожежі від пожежного крана. Гасіння за допомогою первинних засобів триває як до повної ліквідації вогнища, так і до моменту такого ускладнення обстановки, при якій неможливо перебувати на станції без спеціальних засобів захисту. У цьому випадку особовий склад метрополітену залишає станцію. Імовірність кожної ситуації може бути визначена методом безпосередньої експертної оцінки [89].

Другий умовний блок починається з моменту зупинки состава і виходу пасажирів на платформу станції. У цей момент важливим елементом є обстановка, що склалася на пожежі. Кожна з можливих ситуацій також носить імовірнісний характер і має свої характерні риси.

Так, при відсутності великого задимлення і високої температури пасажирів можуть рухатися у напрямку ескалаторів. У разі різкого підвищення температури на шляхах евакуації співробітники метрополітену відводять пасажирів на безпечну відстань (сусідня платформа, другий вихід зі станції або в паралельний тунель, переконавшись у відключенні електрики) [1]. При великому задимленні персонал метрополітену, об'єктивно оцінивши ситуацію і ліквідувавши паніку, починає евакуацію пасажирів найбільш безпечними та швидкими шляхами. Зокрема, найбільш швидкою є евакуація пасажирів по включених ескалаторах. Однак не виключається ситуація, коли співробітники метрополітену через якісь причини не зможуть включити всі ескалатори на підйом. Це значно сповільнить рух пасажирів.

Небезпечні фактори пожежі, у першу чергу високі концентрації небезпечних продуктів горіння, можуть призвести до ураження людей. Щоб уникнути цього, як варіант, іноді евакуація пасажирів здійснюється паралельним тунелем через вентиляційні люки або сусідню станцію. В [66] відзначається, однак, що такий процес може бути здійснений лише при певній схемі вентиляції тунелів.

На даному етапі розглянуті ситуації будуть розвиватися дуже швидко й час виконання кожної операції може бути різним. Проте їх можна визначити як під час проведення натурних експериментів у ході тактико-спеціальних навчань, так і за допомогою експертів.

Третій умовний блок описує роботу штабу аварійно-рятувальних робіт [3,4,5,18,37]. В останній входять працівники оперативно-рятувальної служби, керівник об'єкта, представник воєнізованої гірничорятувальної служби, інші фахівці метрополітену. У зв'язку із цим диспетчер станції, на якій відбулася пожежа, викликає особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів, технічну службу метрополітену, гірничорятувальників, сповіщає начальника

станції і керівництво метрополітену. Все це відображено в інструкції диспетчеру станції на випадок виникнення пожежі [1], умілі дії відповідно до якої будуть однією з головних умов для успішної ліквідації НС.

Мобільність і підготовленість служб, які викликаються, у першу чергу оперативно-рятувальної служби, визначають час прибуття їх до місця НС і своєчасність організації штабу аварійно-рятувальних робіт. Оцінивши обстановку, що склалася на місці аварії, штаб створює оперативні ділянки, зосереджує необхідну кількість сил і засобів, організує надання медичної допомоги врятованим пасажиром. Для цього викликаються бригади швидкої допомоги і державна автоінспекція, що забезпечує під'їзд всіх прибуваючих підрозділів. Всі ці операції мають імовірнісний характер і можуть бути визначені експериментально під час тактико-спеціальних навчань і тренувань або за допомогою експертів.

Найбільш важливим для розкриття закономірностей діяльності рятувальників у СРЕСМ є дослідження роботи оперативно-рятувальних підрозділів цивільного захисту по рятуванню тих, хто не був евакуйований раніше, і ліквідації осередку НС (четвертий умовний блок). Необхідно відзначити, що до створення штабу аварійно-рятувальних робіт керівником АРР буде [5] старша посадова особа пожежно-рятувальної служби, що прибула до місця надзвичайної ситуації. У першу чергу вона організує підготовку ланок газодимозахисної служби до роботи (одягання апаратів, проведення оперативної перевірки, з'єднання зчіпкою, організація поста безпеки...). Рівень підготовки рятувальників є основною умовою для їх швидкого включення в апарати і просування до станції. Однак ще однією умовою, без якої ланка газодимозахисників не зможе спуститися на станцію, є допуск на вхід у приміщення станції метрополітену, що видає співробітник станції після відключення напруги з контактної рейки і інших високовольтних установок [4,5].

Швидкість руху рятувальників по станції, а також час пошуку потерпілих будуть залежати від підготовки газодимозахисників до роботи в ізолюючих апаратах і здатності орієнтуватися в просторі. Поряд з роботами щодо рятування потерпілих перший підрозділ оперативно-рятувальної служби проводить оперативне розгортання від пожежного автомобіля до верхнього патрубку сухотруба станції. Знайшовши постраждалого, ланка вертається на свіже повітря. Транспортування потерпілого без свідомості є дуже важким видом оперативної роботи, тому для швидкого її виконання необхідні фізична витривалість і вміння правильно дихати в апаратах. Після виносу потерпілого на свіже повітря рятувальники передають його працівнику швидкої допомоги. Якщо останні ще не прибули, то перша медична допомога надається ними ж.

Залежно від того, який пожежно-рятувальний підрозділ першим прибуде до місця НС, ланки ГДЗС на початковому етапі можуть працювати не тільки в регенеративних дихальних апаратах (мають час захисної дії до 4-х годин), але і в апаратах на стисненому повітрі (час захисної дії останніх сильно залежить від ступеня важкості виконуваної роботи – при виконанні

дуже важкої роботи може не перевищувати 15 хвилин). В останньому випадку повторний спуск (для продовження робіт з виконання оперативного завдання) на станцію газодимозахисників може здійснюватися тільки після заміни повітряних балонів і відповідної [59,60] перевірки апаратів. Для цього до місця НС прибуває автомобіль ГДЗС. Якщо ланка або відділення ГДЗС працює у РДА, газодимозахисники повертаються на свіже повітря практично завжди тільки після виконання поставленого завдання.

Виходячи із цього, ланки в апаратах на стисненому повітрі, як правило, проводять пошук потерпілих лише у вестибюлі станції і на ескалаторі. Ланки в регенеративних дихальних апаратах шукають потерпілих по всій площі станції, а також подають стволи на гасіння пожежі від нижніх патрубків сухотрубів. Час виконання окремих операцій особовим складом оперативно-рятувальної служби залежить від безлічі різних факторів, але, у першу чергу, визначається витратою повітря в апаратах на стисненому повітрі або кисню в регенеративних дихальних апаратах.

Таким чином, основні показники, які дають чисельну характеристику послідовно-паралельних подій процесу АРР СМ, являють собою не тільки розподіл часу на виконання окремих операцій і ймовірності переходу від однієї операції до іншої, але також і розподіл швидкості витрати повітря, якщо мається на увазі робота в апаратах на стисненому повітрі, або подачі кисню, якщо розглядається робота в регенеративних дихальних апаратах.

Для оцінки швидкості витрати повітря і подачі кисню необхідно провести спеціальні експериментальні дослідження, оскільки рятувальники в ході оперативної роботи цього не контролюють. Кількісні значення розподілу часу на виконання операцій можуть бути отримані як у результаті фізичного моделювання (шляхом проведення відповідних натурних експериментів), так і, враховуючи типовий характер більшості операцій, у результаті використання методів безпосередньої експертної оцінки [84,89]. Аналогічно можуть бути оцінені й чисельні значення умов переходу від однієї події до іншої, оскільки вони являють собою ймовірності їхнього виникнення. Весь використовуваний в імітаційній моделі набір послідовно-паралельних подій і умов подано у Додатку А.

3.2. Наведення вихідних даних для імітаційного моделювання у термінах апарата Є-мереж

В 2.2. було відзначено, що оцінку ефективності С доцільно робити за результатами імітаційного моделювання. Для того, щоб усунути недоліки, які мають місце при описі діяльності рятувальників у ході АРР СМ за допомогою існуючих імітаційних моделей, був обраний апарат Є-мереж [78-81], що є розвитком мереж Петрі.

Апарат Є-мереж дозволяє оцінити результати виконання окремих операцій, а також комплексу операцій, що забезпечують функціонування СРЕСМ, завдяки тому [78,79], що в даних мережах вводиться генератор, який моделює час виконання операції за допомогою законів випадкового

розподілу: рівномірного, нормального, експонентного, Ерланга, Пуассона та інших.

Це дозволяє імітацію виконання тих або інших подій фактично звести до формування на ЕОМ можливих значень випадкової величини t_i із заданим законом розподілу. Останнє не особливо складне, якщо відомо щільність розподілу $f(t)$ випадкової величини t , оскільки вихідним “матеріалом” для побудови будь-яких випадкових об’єктів в ЕОМ служать так звані випадкові числа, які видає спеціальна програма - датчик випадкових чисел. Випадкове число можна розглядати як можливе значення z_i , що наближено підкоряється рівномірному закону розподілу в інтервалі $[0,1]$:

$$F(z) = \begin{cases} 0 & \text{для } z \leq 0; \\ z & \text{для } 0 < z < 1; \\ 1 & \text{для } z \geq 1. \end{cases} \quad (3.1)$$

У той же час, відома теорема [22], відповідно до якої, якщо випадкова величина t має щільність розподілу $f(z)$, то розподіл випадкової величини

$$z = \int_0^t f(t)dt \quad (3.2)$$

є рівномірним в інтервалі $[0,1]$. Із цього виходить, що для перетворення послідовності випадкових чисел з рівномірним законом розподілу в інтервалі $[0,1]$ у послідовність випадкових чисел з функцією розподілу $F(t)$ необхідно із сукупності випадкових чисел з рівномірним законом розподілу в $[0,1]$ (використовуються стандартні підпрограми генерації псевдовипадкових чисел [61]) вибрати випадкове число z_i і розв’язати рівняння

$$F(t_i) = z_i \quad (3.3)$$

відносно t_i або, якщо замість функції розподілу задана щільність імовірності $f(t)$, то:

$$\int_0^{t_i} f(t)dt = z_i \quad (3.4)$$

Таким чином,

$$t_i = F^{-1}(z_i), \quad (3.5)$$

де $F^{-1}(z_i)$ - зворотна функція розподілу, що має щільність імовірності $f(t)$.

Аналогічним шляхом можна виконати моделювання й інших показників, пов'язаних з часовими характеристиками діяльності рятувальників. У разі функціонування СРЕСМ це будуть переважно швидкісні показники руху на тій або іншій ділянці, витрати повітря при роботі в АСВ, подачі кисню при роботі в РДА.

Все це говорить про те, що результати експериментальних і експертних досліджень часових характеристик виконання рятувальниками окремих операцій функціонування СРЕСМ повинні бути подані у вигляді законів розподілу розглянутої випадкової величини.

Однак основною проблемою імітаційного моделювання СРЕСМ є переходи розглянутого процесу з одного стану в інший. І якщо імовірнісну складову P_i таких переходів не становить проблеми змоделювати як

$$P_i = z_i, \quad (3.6)$$

то саме конкретні умови здійснення різного типу переходів, у першу чергу тих, що виключили можливість застосування апарата мережних моделей і мереж Петрі, вимагали застосування науково-методичного апарата Є-мереж [78-81].

Нижче подано аналіз можливості використання переходів конкретного типу, реалізованих апаратом Є-мереж, для опису типових ситуацій, які можуть мати місце в СРЕСМ.

Так, Т-перехід запускається, коли при вільній вихідній позиції маркер попадає у вхідну позицію або коли при зайнятій вхідній позиції маркер залишає вихідну позицію. У моделі такий перехід реалізується на самому початку: вхідною позицією буде p_1 – виявлення пожежі; переходом буде t_1 – оповіщення машиніста про пожежу і вихідною позицією – p_2 – машиніст сповіщений (тут і далі t_k - k-та дія, а p_e - e-та умова, які наведені в Додатку А).

Умовні переходи об'єднання описуються за допомогою J-переходу, при запуску якого повинні виконуватися дві вхідних умови. Даний тип переходу доцільно використовувати для моделювання ситуації, прикладом якої буде випадок, коли руху газодимозахисників на станцію (дія t_{19}) повинне передувати з'єднання рятувальників зчіпкою (умова p_{31}) і одержання допуску на вхід від співробітників станції (умова p_{32}). Вихідною умовою p_{33} є достатня кількість повітря або кисню в ізолюючих апаратах і підготовленість рятувальників.

Ситуація роздвоєння може бути реалізована за допомогою F-переходу, оскільки при його запуску може бути утворений новий маркер. Обидві вихідні позиції F-переходу повинні бути вільними для того, щоб перехід міг бути запущений маркером із вхідної позиції. Після запуску F-переходу обидві вихідні позиції зайняті, а вхідна позиція вільна. Виконання F-переходу відбувається при моделюванні підготовки гірничорятувальників до роботи t_{26} . Вхідною умовою буде p_{40} – гірничорятувальники прибули, а вихідними умовами будуть p_{41} – представник гірничорятувальної служби

готовий включитися в роботу штабу і p_{44} – гірничорятувальники готові спускатися на станцію.

T-, J-, F-переходи запускаються тільки тоді, коли всі вхідні позиції маркіровані, а вихідні – вільні. При цьому після закінчення часу запуску переходу всі вихідні позиції маркуються, а маркування вхідних позицій скасовується. Атрибути маркера у вихідних позиціях визначаються за допомогою процедури переходу.

Для ситуації, коли потрібно вибрати одну із двох альтернативних позицій, в апараті Є-мереж використовується X-перехід, що визначає один із двох можливих шляхів просування маркера. Якщо альтернативна позиція порожня, то варто вибрати шлях "A→C"; якщо альтернативна позиція зайнята, то вибирається шлях "A→D". Прикладом X - переходу для моделі буде t_{37} – включення аварійного режиму вентиляції. Умовою для виконання цієї дії будуть p_{37} – співробітники метрополітену знають про необхідність включення аварійного режиму вентиляції. У свою чергу ця дія породжує наступні умови: p_{63} – дим вилучений і p_{64} – вентиляція не справляється з димом.

Y-перехід використовується аналогічно T-переходу, однак при цьому, не враховуючи альтернативної позиції, зайнята тільки одна вхідна позиція. Якщо одночасно зайняті дві вхідні позиції, то пріоритет встановлюється альтернативною позицією. Якщо при цьому альтернативна позиція не визначена, то пріоритет устанавлюється по старшинству. Прикладом використання переходу в імітаційній моделі буде ситуація t_{43} – рух співробітників станції, що брали участь у гасінні пожежі до виходу. Першою умовою для виконання переходу може бути p_{20} – співробітники станції не вміють з'єднати рукави чи немає стволів і рукавів на станції; іншою умовою – p_{22} – ускладнення обстановки на пожежі.

У табл. 2.1 наведені схемні реалізації простих переходів, які мають місце в СРЕСМ. Для більш складних випадків у моделі використовуються макропереходи (табл. 2.2).

Так, макроJ-перехід (MJ) і макроF-перехід (MF) мають більше двох вхідних або вихідних позицій. Обидва типи переходу запускаються тільки тоді, коли всі вхідні позиції зайняті, а всі вихідні порожні. Час запуску й процедура переходу однаково визначається для простих і макропереходів.

Прикладом використання макроJ-переходу (MJ) служить t_{38} - рух пасажирів разом зі співробітниками станції по сусідньому тунелі на іншу станцію або до вентиляційних камер. Він реалізується лише при виконанні наступних умов: p_{61} - пасажирів готові евакуюватися по тунелі, p_{62} - співробітники метрополітену знають про можливість евакуації пасажирів по сусідньому тунелі на іншу станцію або через вентиляційні шахти, p_{63} - дим в евакуаційному тунелі відсутній. Вихідною умовою будуть p_{65} – співробітники метрополітену вивели пасажирів до вентиляційної камери або на сусідню станцію.

Таблиця 2.1

Схеми простих переходів

Тип переходу	Графічне зображення	Схема
Т-перехід (виконання) T(A, C)		$(1,0) \rightarrow (0,1)$
J-перехід (об'єднання) J(A, B, C)		$(1,1,0) \rightarrow (0,0,1)$
F-перехід (роздвоєння) F(A, C, D)		$(1,0,0) \rightarrow (0,1,1)$
X-перехід (розподіл на частини) X(R, A, C, D)		$(0,1,0,0)((E,0,1,0)$ $(0,1,0,1)((E,0,1,1)$ $(0,1,1,0)((E,0,1,1)$ $(1,1,0,0)((E,0,0,1)$ $(1,1,1,0)((E,0,1,1)$ $(1,1,0,1)((E,0,1,1)$
Y-Y- перехід (вибір) Y(R, A, B, C)		$(0,1,0,0)((E,0,0,1)$ $(0,1,1,0)((E,0,1,1)$ $(0,0,1,0)((E,0,0,1)$ $(1,0,1,0)((E,0,0,1)$ $(1,1,1,0)((E,1,0,1)$ $(1,1,0,0)((E,0,0,1)$

Схеми макропереходів

Тип переходу	Графічне зображення	Схема
МЖ-перехід (об'єднання) МЖ(A1,...,An, B)		$(1, \dots, 1, 0) \rightarrow (0, \dots, 0, 1)$
МФ-перехід (розмноження) МФ(A, B1, ..., Bn)		$(1, 0, \dots, 0) \rightarrow (0, 1, \dots, 1)$
МХ-перехід (розподіл на частини) МХ(R, A, B1, ..., Bn)		$(m, 1, F, \dots, 0, \dots, F) \left(\begin{array}{c} \backslash \\ B_m \\ / \end{array} \right. \\ (E, 0, F, \dots, 1, \dots, F)$
МУ-перехід (вибір) МУ(R, A1, ..., An, B)		$(m, F, \dots, 1, F, \dots, F, 0) \left(\begin{array}{c} \backslash \\ A_m \\ / \end{array} \right. \\ (E, F, \dots, 0, F, \dots, F, 1) \\ (m, F, \dots, 0, 1, F, \dots, 0) \left(\begin{array}{cc} / & \backslash \\ A_m & A_t \\ \backslash & / \end{array} \right. \\ (E, F, \dots, 0, 0, F, \dots, 1)$

МакроF-перехід (MF) у моделі реалізується, наприклад, як t_2 – дія машиніста за інструкцією. Вхідна позиція: p_2 – машиніст сповіщений про НС; вихідні позиції: p_3 – диспетчер станції сповіщений, p_4 – машиніст готовий ліквідувати НС підручними засобами, p_5 – машиніст може по гучномовному зв'язку сповістити пасажирів про їхні дії.

Аналогічно макроX-перехід (наприклад, t_6 – аналіз машиністом результатів гасіння вогнегасниками з кабіни; вхідна умова p_8 – машиніст припиняє гасіння пожежі вогнегасниками, а вихідна умова – кожна з: p_9 – пожежа не погашена, але вогнегасники в кабіні ще є; p_{10} – пожежа погашена

машиністом вогнегасниками з кабіни; p_{11} – пожежа не погашена, при цьому немає заряду у вогнегасниках з кабіни) і макроY-перехід (наприклад, дія t_7 - рух співробітників метрополітену до пожежного крана; виконується при кожному з: p_7 – немає вогнегасників у кабіні або машиніст не вміє ними користуватися, p_{11} – пожежа не погашена, при цьому немає заряду у вогнегасниках з кабіни, p_{13} – відсутність робочих вогнегасників на станції або персонал станції не вміє користуватися ними, p_{17} – пожежа не погашена, немає заряду у вогнегасниках зі станції; переходом викликається умова p_{19} - співробітники метрополітену підбігли до пожежного крана) є простими розширеннями X- і Y- переходів. Однак значення альтернативної позиції макропереходу визначається трохи інакше, чим для найпростіших переходів. Якщо, наприклад, макроX-перехід має n вихідних позицій, то значення альтернативної позиції цього переходу змінюється від 1 до n . Якщо альтернативна позиція вказує на позицію з номером m , а ця позиція порожня, то опитуються циклічно всі вхідні або вихідні позиції.

Викладене вище дозволяє граф імітаційної моделі СРЕСМ, що опирається на використання апарата Є-мереж та набір подій і умов (див. Додаток А), подати у вигляді, наведеному на рис. 3.2. Початковою подією моделі є подія «НС виявлена», закінчуються АРР подією «Надання медичної допомоги постраждалим».

3.3. Особливості використання мобільної інструментальної системи для імітаційного моделювання процесу проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену

Реалізація імітаційної моделі процесу, написаною в термінах апарата Є-мереж, забезпечується [79] мобільною інструментальною системою імітаційного моделювання (МІСІМ). В останній, однак, не враховується імовірнісний характер вибору напрямку розгалуження в моделі (а це характерно, наприклад, для моделювання ситуацій вибору тактичних прийомів або використовуваних ізолюючих апаратів), а відповідно і порядок моделювання тієї або іншої операції, що виконують рятувальники.

Крім того, особливістю МІСІМ є і те, що модуль програми моделювання умовно ділиться на кілька уніфікованих секцій, які послідовно виконують певні функції. У той же час, в 3.1, де була розроблена імітаційна модель СРЕСМ у термінах апарата Є-мереж, показано, що розглянутий процес являє собою чотири основних взаємозв'язаних і працюючих паралельно блоки, що відображають процеси (1) евакуації і порятунку пасажирів співробітниками метрополітену, (2) роботу підрозділів пожежно-рятувальної служби, (3) створення і роботу штабу пожежогасіння, а також (4) гасіння пожежі співробітниками метрополітену.

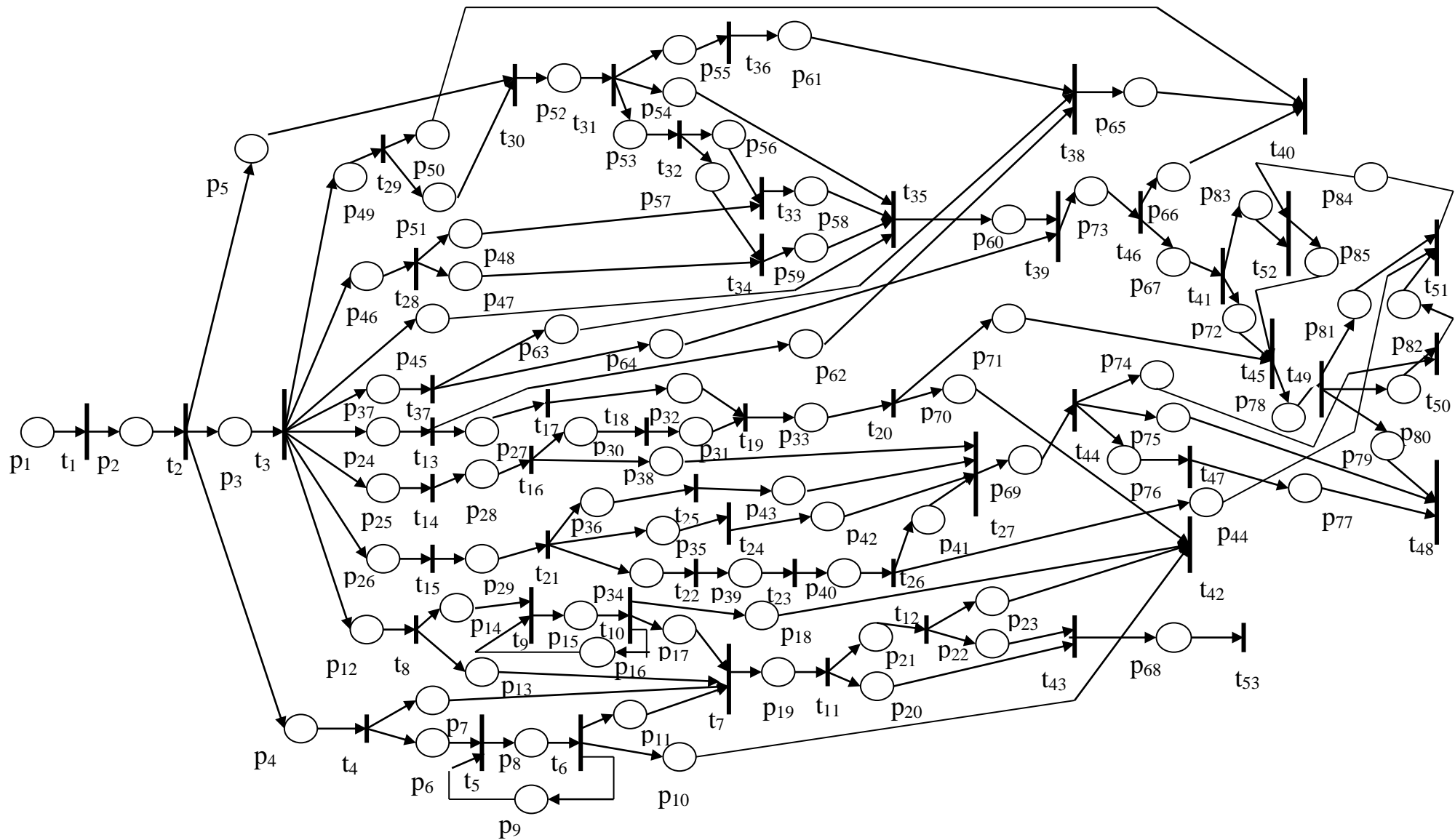


Рис. 3.2. Граф імітаційної моделі функціонування системи «рятувальник – екстремальне середовище» на станціях метрополітену

У результаті використання МІСІМ для моделювання СРЕСМ вимагає не тільки визначення мінімального часу запуску генератора переходів, для яких виконуються відповідні умови, але й уточнення конкретного часу їхнього спрацьовування. Тобто, імітаційне моделювання розглянутої системи вимагає такого вдосконалювання МІСІМ, що забезпечить облік імовірнісного характеру вибору напрямку розгалуження в моделі, поданої в термінах апарата Є-мереж, а також уточнення в процесі моделювання часу, при якому спрацьовують переходи.

Аналіз мобільної інструментальної системи імітаційного моделювання показав, що процес моделювання в МІСІМ полягає в складанні програми моделювання і її виконанні на ЕОМ. При цьому саме параметри графа, що відображає процес функціонування СРЕСМ, визначають роботу використовуваного програмного комплексу.

Модуль програми моделювання умовно ділиться на кілька уніфікованих секцій.

Секція 1. Функція – загальні визначення змінних і масивів. У цій секції описані загальні області глобальних змінних системи, розмірності масивів, типи системних змінних відповідно до угод мови Turbo Pascal 7.0. Ця секція програми моделювання не складається користувачем, вона формується автоматично і прикомпоновується до модуля програми моделювання без втручання користувача в процес генерації системи. Видно, що саме в цій секції зосереджують вихідні параметри, які характеризують переходи й позиції моделі APP CM, у тому числі і ті, які визначають імовірнісний характер моделювання. Однак зміни в роботі розглянутої секції вимагають створення нової інструментальної системи, тобто втручання в її роботу є неприпустимим.

Секція 2. Функція – ініціалізація. Робота секції носить стандартний характер, оскільки в ній, по-перше, ініціалізуються системні масиви і змінні, а також визначаються параметри мережі (характеристики переходів, позицій і т.д.) шляхом виклику підпрограми DATA, і, по-друге, імітуються користувальницькі масиви і змінні, а також устанавлюються значення користувальницьких констант. Отже, внесення змін у програму, що визначає роботу секції 2, також є недоцільним.

Секція 3. Функція – пошук переходів, що запускаються.

Секція містить виклик підпрограм FIRE і TGMINI.

У підпрограмі FIRE відбувається пошук переходів мережі, які запускаються, що моделює процес APP CM. У процесі роботи підпрограми FIRE проглядається список переходів (матриця TRAN - описується автоматично в секції 1) і визначається безліч переходів, для яких виконуються умови запуску в цей момент модельного часу. Умови запуску:

- вхідні і вихідні позиції переходу маркіровані таким чином, що перехід може бути запущений (збуджений);
- заданий при описі мережі (у файлі <ім'я мережі>.DAT) час запуску переходу – не менший поточного модельного часу.

Після цього здійснюється пошук генераторів, що запускаються. Якщо після перегляду матриці TRAN запускаються переходи, що не знайдені, а в системі немає генераторів, що запускаються, (спрацьовування генератора змінює маркування (стан) мережі і, отже, стан переходів), то система видає повідомлення "немає переходів, що запускаються,"; значення є поточного модельного часу t і процес моделювання припиняється. Стан Є-мережі в цей момент часу моделювання описує тупикову ситуацію.

Підпрограма TGMINI (виклик: CALL TGMINI (IPR)) здійснює пошук у списку подій переходу або генератора з найменшим часом запуску серед всіх генераторів і готових до запуску переходів (за результатами роботи підпрограм FIRE).

Зважаючи на те, що відповідно до імітаційної моделі APP CM [4] мінімальний час запуску може мати як перехід, так і генератор, для ідентифікації даної ситуації необхідно ввести змінну IFL, який у підпрограмі TGMINI привласнюються наступні значення:

IFL = 1 , якщо першим повинен бути запущений генератор, і керування передається підпрограмі GEN у програмі моделювання (секція 5).

IFL = 2 , якщо першим повинен бути запущений перехід. Керування в цьому випадку передається підпрограмі FIRTRA, яка реалізує після визначення часу спрацьовування запуск переходу, що перебуває в програмі моделювання (секція 4).

У моделі APP CM у третій секції можуть бути визначені і терміни спрацьовування різних видів переходів. Із цією метою спочатку повинні бути переглянуті всі позиції

```
FOR JK2:=1 TO GLBP1 DO.
```

У тому випадку, коли позиція маркірована

```
IF(RE(PLA,JK2,1)<>0)THEN,
```

здійснюється пошук переходу для маркірованих позицій

```
FOR JK1:=1 TO GLBT1 DO.
```

Після знаходження такого переходу визначається час його спрацьовування. При цьому для переходів типу X, MX, Y, MY [7], крім часу спрацьовування переходу, визначається і напрямок розгалуження.

Особливістю моделювання Y- і MY- переходів є те, що умовою для запуску переходу є влучення маркера в одну із вхідних позицій. Час до його спрацьовування розраховується як сума опрацьовуваних годин попередніх переходів, а час роботи переходу - відповідно до розподілу Ерланга, що задовольняє [4] опис часу виконання окремих операцій, які становлять повний процес APP CM. У результаті підпрограма реалізується в наступній послідовності:

- пошук Y-, MY- переходів;
- пошук маркірованих вхідних позицій. Винятком служить MY- перехід t_{27} (гасіння пожежі вогнегасниками черговими по станції), що спрацьовує лише один раз, при влученні першого маркера в одну з його вхідних позицій, тому що в цьому місці тупик;
- визначення часу роботи переходу.

При цьому повинні бути окремо описані умови запуску, час до спрацьовування і час спрацьовування кінцевих переходів, які маркують крайові позиції.

Секція 4 (вводиться додатково). Функція – облік імовірнісного характеру вибору напрямку розгалуження в моделі.

Для цього програма, що перебуває в секції, вирішує завдання визначення альтернативних позицій і відповідного запуску переходу. Секція містить виклик підпрограми FIRTRA (CALL FIRTRA (IPR)), у якій здійснюється запуск переходів.

Номер переходу, що запускається, (позначається через змінну NTRA) передається підпрограмі FIRTRA від підпрограми TGMINI через загальну пам'ять. Залежно від типу переходу, що запускається, (T-, J-, F-, X-, Y- перехід) [3], керування передається одній з п'яти підпрограм, що реалізують запуск переходів різних типів (FIRT, FIRJ, FIRF, FIRX, FIRY відповідно). Виклик цих підпрограм відбувається в підпрограмі FIRTRA без втручання користувача.

У секції 4 можна було б також описати процедури для визначення значень альтернативних позицій, коли досліджувана Є-мережа містить X-і/або Y- переходи зі змінюваними значеннями, у процесі моделювання. Однак оскільки в програмі моделювання APP CM ці значення не змінюються, у розглянутому випадку вони визначаються при описі мережі (секція 2).

Секція 5. Функція – запуск генератора.

Ця секція містить виклик програми запуску генератора GEN (CALL GEN (IDG,IPR)), що реалізує створення нового маркера в макропозиції - генераторі.

Параметр IDG, що обчислюється в підпрограмі GEN, визначає можливість утворення нового маркера. Принципово робота секції не вимагає зміни, однак треба враховувати те, що в процесі моделювання APP CM інтервали часу між запусками генератора повинні бути [4] розподілені випадковим чином (закон розподілу вказується у файлі даних мережі <ім'я мережі>.DAT). Із цього витікає, що викликувана програма повинна реалізовуватися відповідним генератором випадкових чисел. При цьому для формування кожної випадкової змінної в системі повинен використовуватися власний генератор випадкових чисел (тобто RNUM у різних генераторах не повинні збігатися). В іншому разі буде моделюватися ситуація, якої не може бути в принципі, коли, наприклад, у ланці ГДЗС працюють газодимозахисники з абсолютно однаковими психофізіологічними й професійними характеристиками.

Секція 6. Функція – обробка списку подій.

Ця секція містить виклик підпрограми TGTIME (CALL TGTIME (IPR)), що переглядає і модифікує список подій і відповідно до цього списку визначає переходи і генератори, які повинні бути запуснені в цей момент модельного часу. Крім цього, в TGTIME обчислюється змінна IFL, у відповідності зі значенням якої передається керування конкретним підпрограмам. Зокрема, якщо потрібно уточнення конкретного часу

спрацьовування переходу, керування передається в секцію 3 підпрограмі FIRE, а якщо необхідно вибрати напрямок розгалуження відповідно до його імовірнісних характеристик – у секцію 4 підпрограмі FIRTRA. У всіх інших випадках керування передається в секцію 5 підпрограмі GEN, що здійснює запуск генератора.

Якщо час моделювання минув, то керування в програмі моделювання передається підпрограмі ENDSIM (секція 7). Зважаючи на те, що в ході реалізації кожної ітерації нас цікавить час настання різних подій, які мають місце в процесі APP CM, в уточненій MICIM дана підпрограма повинна викликатися після запуску кожного блоку підпрограм.

Секція 7. Функція – обробка статистичної інформації і вивід результатів моделювання.

Ця секція містить процедури, що обробляють статистичні дані, зібрані в процесі моделювання, і різні параметри, що обчислюють, заданим користувачем для оцінки роботи системи. У цій секції також виводяться результати моделювання. Особливості моделювання процесу APP CM не вимагають коректувань у роботі цієї секції, зважаючи на те, що передбачено обов'язковий виклик підпрограми ENDSIM, що проводить обробку статистичних даних і дозволяє простежити переміщення маркера в будь-який момент моделювання.

Виходячи з вищевикладеного, структурна схема моделювання SPESM має вигляд, наведений на рисунку 3.3.

При цьому елементи загальної програми, які створюються додатково до існуючих у вихідній MICIM і відображають імовірнісний характер вибору виконуваних робіт, а також взаємозв'язок і паралельне виконання основних підпроцесів, зображені пунктиром.

Повний текст програми імітаційного моделювання аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену з урахуванням вихідних даних, що були отримані за допомогою науково-методичного апарата, представлено в четвертій главі, наведено у [90].

3.4. Перевірка працездатності імітаційної моделі

Перевірка працездатності отриманої імітаційної моделі здійснювалась під час тактико-спеціального навчання (ТСН) на станції "Південний вокзал" Харківського метрополітену, що було проведено особовим складом оперативно-рятувальної служби МНС України в Харківській області і персоналом Харківського метрополітену в ніч із 3 на 4 березня 2003 року. Метою навчань було відпрацьовування взаємодії різних служб, удосконалювання підготовки співробітників метрополітену і рятувальників при ліквідації пожежі на станції метрополітену. Оперативно-тактична характеристика станції "Південний вокзал" і тактичний задум навчань представлені в [34].

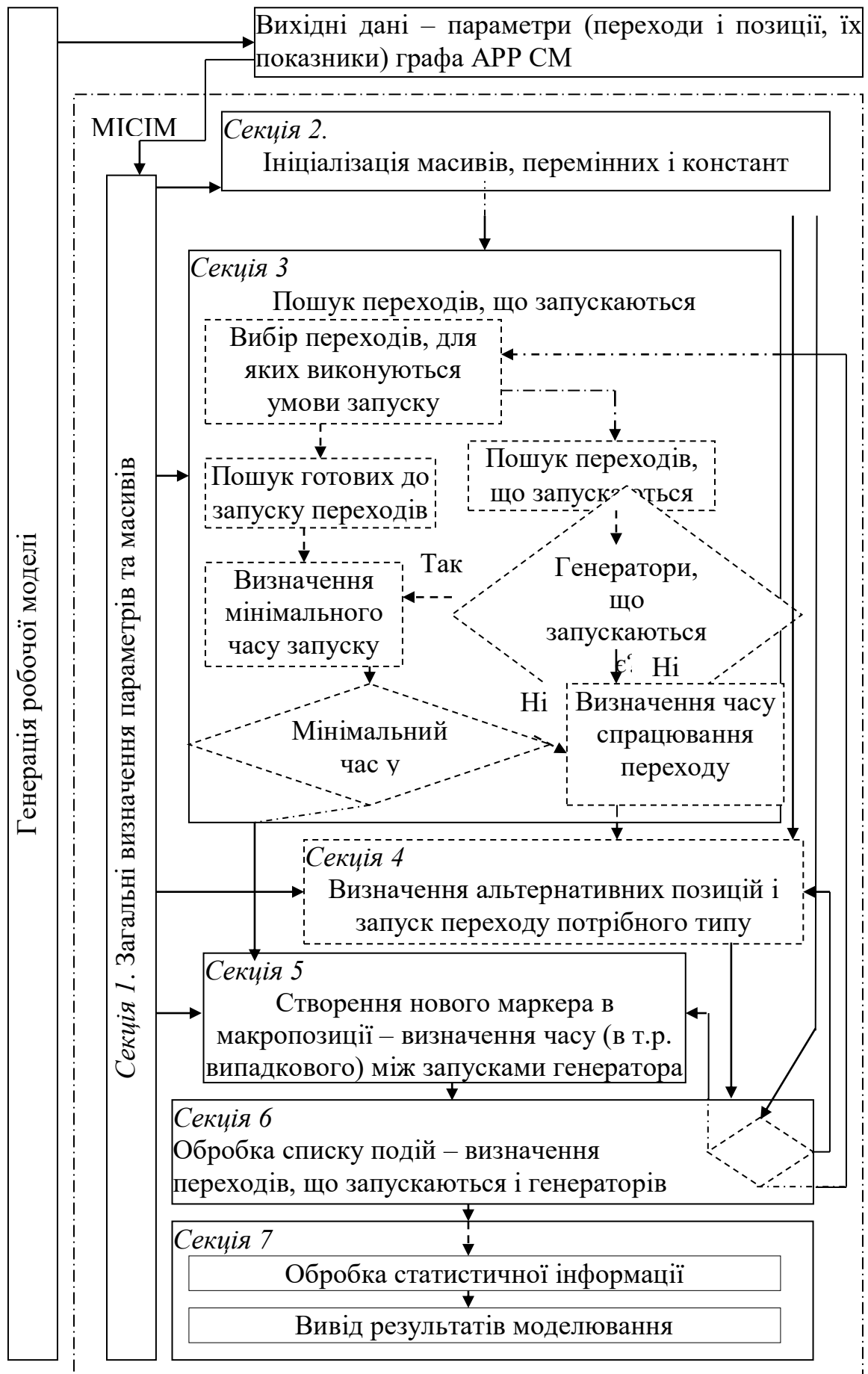


Рис.3.3. Структурна схема моделювання SPESM

Як вихідні дані для імітаційної моделі використовувалися експертні оцінки часів виконання операцій, що становлять процес функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення дій – екстремальна ситуація на станції метрополітену», наведений на рис. 3.2.

Експерти, якими були співробітники Академії цивільного захисту України і ГУ МНС України в Харківській області, дали оцінки мінімального і максимального часу виконання кожної операції.

Були розраховані середні значення мінімального (3.6) і максимального (3.7) часу виконання і-ої операції:

$$\bar{t}_{i \min} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij \min}}{n}, \quad (3.6)$$

$$\bar{t}_{i \max} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij \max}}{n}, \quad (3.7)$$

де $t_{ij \min}$ та $t_{ij \max}$ - мінімальне та максимальне, відповідно, значення часу виконання і-ої операції, яку надав j-ий експерт, с;
n - кількість експертів.

Також експерти оцінили ймовірності розвитку подій для окремих видів операцій. Середня ймовірність розвитку ситуації була розрахована як

$$\bar{P}_i = \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}}{n}, \quad (3.8)$$

де P_{ij} - імовірність розвитку і-ої ситуації, дана j-им експертом.

Результати, отримані за допомогою моделі й під час навчань, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Оцінки часу виконання обраних для порівняння подій процесу аварійно-рятувальних робіт на станції метрополітену «Південний вокзал» в м. Харків

Подія	$t_{i \min}, c$	$t_{i \max}, c$	TCH, c
Прибуття перших пожежних підрозділів	600	1500	900
Подача ствола співробітниками метрополітену від пожежного крана	480	1020	750
Рух ланки ГДЗС від входу на станцію до кінця ескалатора	300	840	360

Порівняння результатів дозволило зробити висновок про можливість використання імітаційного моделювання СРЕСМ для одержання прогностичних оцінок.

Висновки з третього розділу

1. Розроблено метод імітаційного моделювання повного комплексу АРР СМ, що становить собою функціонування системи «рятувальник - засоби порятунку і захисту - екстремальне середовище в метрополітені», суттю якого є можливість його моделювання графом з різними типами переходів (простого, умовного, роздвоєння, альтернативного), тупиками, замкнутими циклами та імовірнісним характером розвитку ситуації. Так, присутність умовних переходів описується за допомогою J-переходу, наявність тупиків - макроY- переходів, замкнутих циклів - макроX- і макроY- переходів і т.д. Імовірнісний характер розвитку ситуації враховується за допомогою двох видів макропозицій: черга і пам'ять.

2. Новизна результату полягає в тому, що використання апарата Є-мереж дозволило розробити графічну модель, у якій уперше відображено закономірності організації й функціонування СРЕСМ, особливістю яких є умовна розбивка моделі на чотири основних взаємозалежних ділянки: ліквідація надзвичайної ситуації співробітниками метрополітену, евакуація потерпілих, організація штабу аварійно-рятувальних робіт, оперативна робота підрозділів оперативно-рятувальної служби. При цьому усунути недоліки існуючих методів імітаційного моделювання діяльності особового складу аварійно-рятувальних підрозділів, які не дозволяють використовувати їх для опису розглянутого процесу.

3. Достовірність результату забезпечується: відображенням у графі розробленої імітаційної моделі в термінах апарата Є-мереж порядку ліквідації надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути в метрополітені; використанням відомого і досить повно апробованого апарата моделювання складних систем; збігом результатів, які були отримані за допомогою моделі, з результатами тактико-спеціальних навчань на станції «Південний вокзал» Харківського метрополітену. Показано можливість використання розробленого методу для розкриття закономірностей, що характеризують тривалість виконання окремих етапів функціонування СРЕСМ.

4. Практична значимість розглянутого результату полягає в тому, що метод імітаційного моделювання СРЕСМ, який опирається на використання апарата Є-мереж, став основою програмного забезпечення моделі, що дозволяє провести машинні експерименти, за результатами яких можуть бути зроблені обґрунтовані висновки щодо ефективності пропонуваніх рекомендацій. Особливістю імітаційного моделювання СРЕСМ за допомогою апарата Є-мереж є використання мобільної інструментальної системи імітаційного моделювання МІСІМ, у якій роботу програмного комплексу визначають параметри графа, що відображає процес функціонування СРЕСМ, а структура і основні процедури програми моделювання стандартно визначені.

4. РОЗКРИТТЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИКОНАННЯ ОКРЕМИХ ОПЕРАЦІЙ РЯТУВАЛЬНИКАМИ

4.1. Фізичне моделювання виконання типових операцій

4.1.1. Особливості проведення експериментальних досліджень

Виконаний у 3.2 аналіз можливості подання вихідних даних у термінах апарата Є-мереж і розроблена у відповідності до цього науково-методичного апарату модель СРЕСМ (див. рис.3.2) показують, що вихідні дані, які необхідні для проведення багатофакторного моделювання, можуть бути подані у вигляді сполучення наступних окремих показників:

- функцій розподілу часових або швидкісних характеристик виконання окремих операцій процесу АРР, який розглядається;
- ймовірностей переходу з одного стану в інший, від однієї операції до іншої.

Тобто видно, що імітаційному моделюванню повинне передувати одержання кількісних закономірностей виконання окремих видів діяльності в процесі функціонування СРЕСМ. Ці закономірності можуть використовуватися як для формування вихідних даних моделі, так і для обґрунтування рекомендацій, реалізація яких буде сприяти підвищенню ефективності виконання рятувальниками часткових операцій з повного комплексу робіт.

Для деяких операцій, наприклад для часу виконання оперативної перевірки засобів індивідуального захисту органів дихання, швидкості руху ланки ГДЗС по ескалатору та інших, окремі показники наведені в науково-технічній [30,31,93] і нормативній [1,5,57] літературі. Вони відповідають сформованому рівню підготовки особового складу оперативно-рятувальної служби і персоналу метрополітену, їх оснащенню спеціальними технічними засобами. Однак при цьому носять досить загальний характер і не відображають ймовірнісний характер виконання як безпосередньо окремих операцій, так і переходів між ними. Тому вихідні дані для розробленої імітаційної моделі, а відповідно і закономірності виконання типових операцій АРР СМ, передбачається одержати в результаті обробки, використовуючи відповідні статистичні й/або експериментальні методи, відомостей про реальні події, даних фізичного моделювання, випробувань зразків спеціальної техніки з наступною оцінкою якості виконання окремих операцій.

Найбільш точні закономірності могли б бути отримані за результатами статистичної оцінки конкретних випадків проведення рятувальних робіт. Однак, як було показано в першому розділі, такий підхід дасть недостовірні результати у зв'язку з обмеженою вибіркою і труднощами виділення для аналізу окремих операцій безпосередньо в ході оперативної роботи. Тому для розкриття закономірностей використовуються такі способи фізичного

моделювання, як тактико-спеціальні навчання (ТСН), рішення тактичних завдань і виконання окремих операцій особовим складом оперативно-рятувальної служби. За рахунок того, що досить часто персонал, який залучається, виконує однотипні операції в схожих умовах, оцінка результатів виконання окремих операцій на ТСН і під час практичних занять у ході рішення тактичних завдань є інформативною.

В основу проведення експериментальних досліджень був покладений вимір часу виконання рятувальниками операцій, які є характерними для загального процесу функціонування СРЕСМ незалежно від характеристики станції і місця виникнення НС, у ході ТСН, які досить часто проводяться в Харківському метрополітені.

Зокрема, у ніч із 21 на 22 жовтня 2000 р. спільними зусиллями співробітників Харківського метрополітену і особового складу Державної пожежної охорони було проведено тактико-спеціальне навчання на станції метро «Радянська». Поряд з відпрацюванням питань взаємодії різних міських служб і вдосконалювання виучки персоналу й рятувальників виконувалися дослідження, метою яких було визначення комплексу організаційно-технічних заходів, реалізація яких повинна підвищити ефективність оперативної роботи персоналу аварійних служб при виникненні НС, у першу чергу в ході проведення рятувальних робіт. Характеристика задуму тактико-спеціального навчання наведена в Додатку Б.

Під час цих навчань були отримані вихідні дані, які використовувалися для розкриття закономірностей виконання типових операцій. Одночасно були визначені умови проведення пожежно-тактичних занять, якщо отримана вибірка була недостатньою для одержання статистично значимих результатів. Відповідні експериментальні дослідження проводилися вже під час практичних занять рятувальників. Так, у результаті ТСН був визначений час виконання характерної операції для рятувальників у випадку НС на станціях глибокого залягання. Розглядалися спуск і підйом по нерухомих ескалаторних лініях, евакуація пасажирів і обслуговуючого персоналу шляхом супроводу і перенесення, проведення розвідки в приміщеннях зі складними конструктивно-планувальними рішеннями, оперативне розгортання підрозділів із прокладкою рукавної лінії. У зв'язку з тим, що обрані операції виконувала одна або дві ланки ГДЗС у складі 3-5 рятувальників в ізолюючих апаратах, під час пожежно-тактичних занять, у ході яких умови виконання вправ намагалися максимально наблизити до тих, які були на ТСН, провели уточнюючі експериментальні дослідження оперативної роботи особового складу ланок ГДЗС. Деякі з наведених результатів подані на рис.4.1.-4.4.

Крім цього, на рис.4.1 пунктирною лінією наведений розподіл часу підготовки ланки ГДЗС до роботи в теплодимокамері, до яких всі газодимозахисники підготовлені дуже добре. Це пояснюється як тим, що дії кожного рятувальника для цієї ситуації досить добре визначені [59], так і тим, що вони виконуються, як правило, тим самим складом, не рідше одного разу на три місяці.

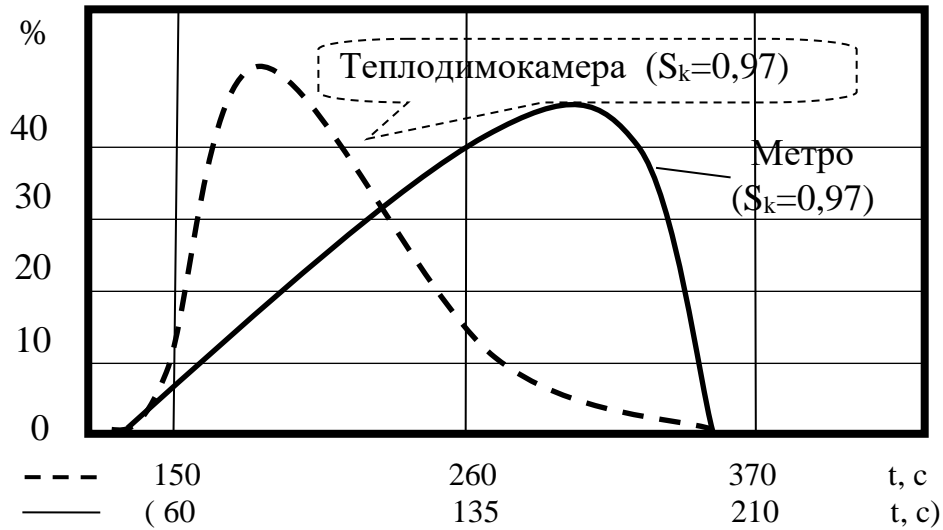


Рисунок 4.1. Розподіл часу підготовки ланки ГДЗС до роботи

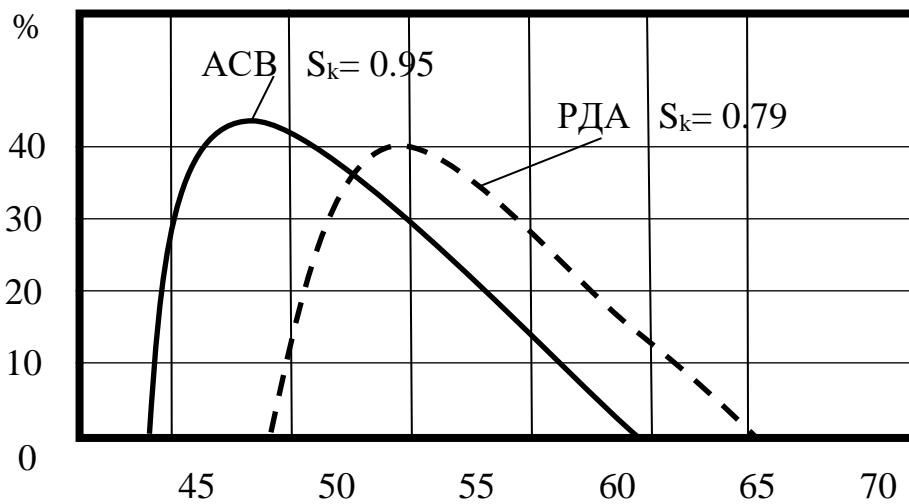


Рисунок 4.2. Розподіл часу виконання оперативної перевірки ізолюючих апаратів

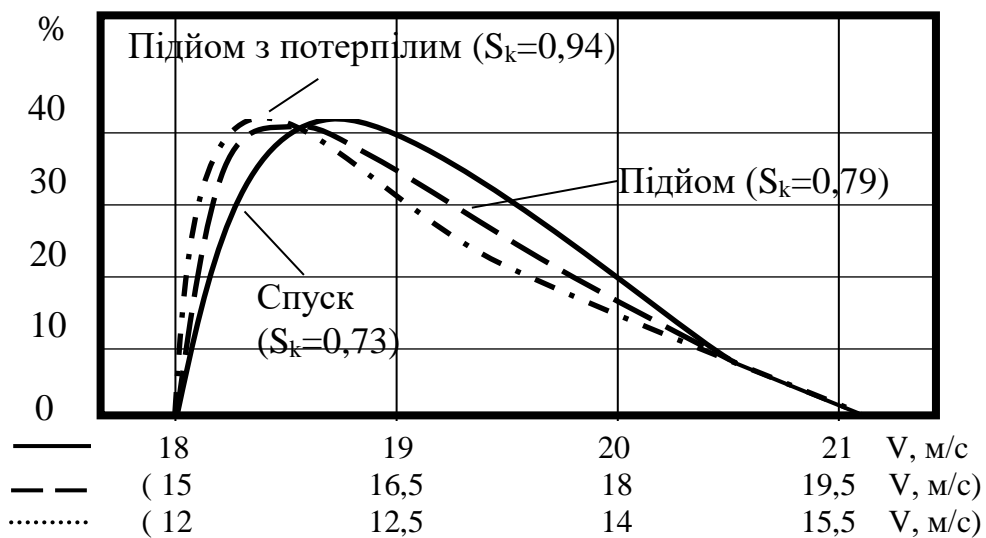


Рисунок 4.3. Розподіл швидкості руху по нерухомому ескалатору

На рис. 4.4 поряд з розподілом (суцільна лінія) часу приєднання рукава до пожежного крана в умовах обмеженої видимості на тлі виконання перед цим важкої роботи (умови, характерні для роботи рятувальників у метро після спуску по нерухомому ескалатору з рукавними скатками і прокладання рукавної лінії) наведені розподіли часу цієї ж операції в нормальних умовах (тренування її виконання в тому або іншому поєднанні проводяться при кожному заступанні на чергування під час занять з пожежно-рятувальної підготовки) і в умовах обмеженої видимості (штрихпунктирна лінія).

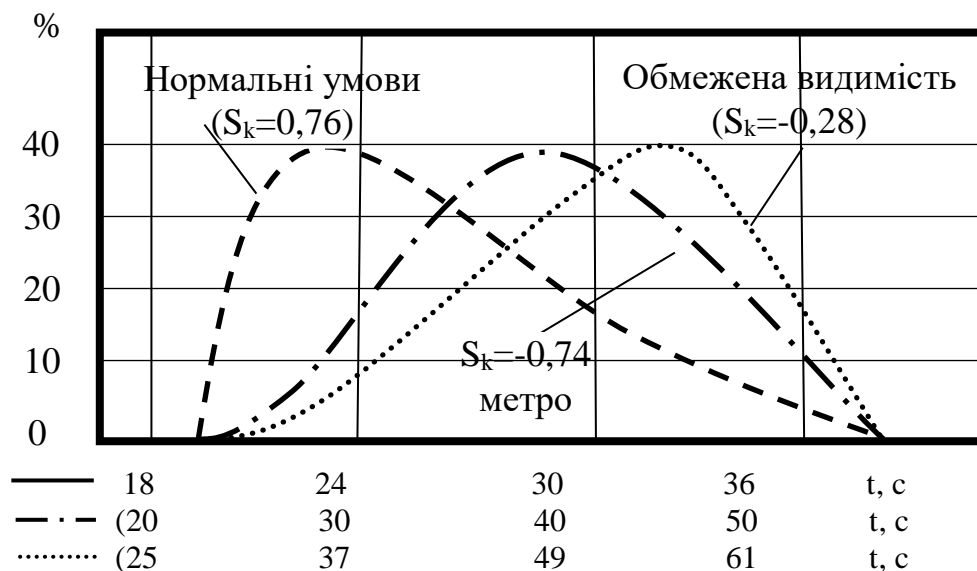


Рисунок 4.4. Розподіл часу приєднання рукава до пожежного крана

4.1.2. Аналіз експериментальних результатів

Результати проведених експериментальних досліджень показали (рис. 4.1-4.4), що характерними рисами, які властиві часу виконання тієї або іншої операції процесу ліквідації пожежі або аварії на станціях метрополітену, є наступні:

- його значення при виконанні будь-якої операції обмежено як зверху, так і знизу, тобто завжди можна вказати максимальне значення $t_{j\max}$, що має місце при збігу найбільш несприятливих обставин, і мінімальне значення $t_{j\min}$, що знадобиться для виконання роботи при найбільш сприятливому збігу обставин;
- при виконанні операції може бути прийняте будь-яке значення на заданому інтервалі $[t_{j\min}, t_{j\max}]$, тобто воно є безперервною випадковою величиною;
- серед даних операцій можуть бути такі, час виконання яких залежить від великої кількості випадкових факторів, кожний з яких окремо є малоістотним, а також операції, на час виконання яких впливає невелике число важливих факторів.

Звичайно для опису часу використовується нормальний закон розподілу [68], що має щільність розподілу

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1)$$

і інтегральну функцію розподілу

$$F(t) = \frac{1}{G\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2G^2}} dt, \quad (4.2)$$

де \bar{t} - математичне очікування часу виконання розглянутої операції, с;
 G - середньоквадратичне відхилення, с.

Однак отримані в ході навчань експериментальні дані (рис.4.1-4.4) не піддаються опису за допомогою нормального розподілу через істотну відмінність показника скошеності розподілу j -ої оперативної операції від нуля, тобто $|Sk_j| > 0$:

$$Sk_j = \frac{1}{n \cdot G_j^3} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{ij} - \bar{t}_j), \quad (4.3)$$

де n - число незалежних випробувань, t_{ji} - результат i -го виміру параметра, \bar{t}_j, G_j - відповідно оцінка математичного очікування й середньоквадратичного відхилення.

Зважаючи на те, що метод експертних оцінок, за допомогою якого будуть отримані відсутні вихідні дані, базується на використанні β - розподілу [84,91], з яким згідно з [78] працює і апарат Е-мереж, для опису розподілу отриманих результатів було обрано β - розподіл. Для одержання параметрів останнього вихідні дані були розміщені в діапазоні від 0 до 1 шляхом кодування:

$$x_i = \frac{(t_i - t_{i\min})}{\Delta t_i}, \quad (4.4)$$

де $\Delta t_i = t_{i\max} - t_{i\min}$.

Ясно, що при необхідності не має труднощів і зворотна операція:

$$t_i = x_i \cdot \Delta t_i + t_{i\min}. \quad (4.5)$$

Основою β – розподілу є β - функція [92]:

$$\beta(x, \alpha, \alpha) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} \cdot (1-x)^{\beta-1} dy, \quad (4.6)$$

де $B(\alpha, \beta)$ - β - функція Ейлера.

У числових змінних функція розподілу часу виконання розглянутої операції має вигляд:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{(t - t_{\min})^{\alpha-1} \cdot (t_{\max} - t)^{\beta-1}}{(t_{\max} - t_{\min})^{\alpha+\beta+1} \cdot B(\alpha, \beta)} & \text{при } t_{\min} \leq t < t_{\max}; \\ 0 & \text{при } t < t_{\min}, t > t_{\max}. \end{cases} \quad (4.7)$$

Параметри β – розподілу α і β знаходять за допомогою одного з пакетів прикладних статистичних програм [93].

Зокрема, для розподілу часу підготовки ланки ГДЗС до початку руху на станцію метрополітену розглянута функція має вигляд:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{(t-150)^{1,91} \cdot (370-t)^1}{(370-150)^{5,9} \cdot B(2,91;2)} & \text{при } 150 \leq t \leq 370; \\ 0 & \text{при } t < 150, t > 370, \end{cases} \quad (4.8)$$

а для розподілу швидкості підйому по нерухомому ескалатору з потерпілим:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{(t-12)^1 \cdot (15,5-t)^{1,9}}{(15,5-12)^{5,9} \cdot B(2;2,9)} & \text{при } 12 \leq t \leq 15,5; \\ 0 & \text{при } t < 12, t > 15,5. \end{cases} \quad (4.9)$$

Аналіз отриманих розподілів (рис. 4.1.-4.4.) дозволяє стверджувати, що за величиною показника скошеності часу виконання j -ої оперативної операції можна оцінювати рівень підготовленості особового складу до виконання цієї

операції. Чим більше позитивне значення розглянутого показника, тим більша кількість рятувальників виконує розглянуту оперативну операцію з результатами, близькими до найкращого. Це свідчить про те, що подальша підготовка не дасть істотного поліпшення результатів. І навпаки, чим більший модуль цього показника для розподілів з негативною скошеністю, тим істотніше будуть поліпшуватися результати після тренувань.

У тих же випадках, коли розглядаються швидкості виконання досліджуваних операцій, зокрема швидкість руху ланок ГДЗС (рис. 4.3.), навпаки, позитивна скошеність розподілу швидкості руху свідчить про те, що рівень підготовленості рятувальників до виконання розглянутих операцій (суцільна лінія - спуск ланок; пунктирна - підйом ланок і підйом потерпілих - штрихпунктирна) може бути поліпшений.

Особливо потрібно виділити такі операції, як виконання оперативної перевірки АСП (суцільна лінія на рис. 4.2.) і оперативної перевірки РДА (штрихова лінія на рис. 4.2.). Розподіл часу виконання як однієї, так і іншої операції має позитивну скошеність. Це є закономірним, оскільки ці операції виконуються перед кожним включенням в апарат (незалежно від того, буде чи ні проводитися АРР у метрополітені) і, якщо не було оперативної роботи в непридатному для дихання середовищі, тренуються не рідше одного разу на місяць.

Таким чином, за величиною показника скошеності розподілу часу або швидкості виконання типових операцій АРР СМ, особливо при їх порівнянні з аналогічними, коли ті виконуються у звичайній діяльності оперативно-рятувальних підрозділів, можна конкретизувати вправи і завдання для їхнього використання при проведенні практичних занять. Наприклад, серед операцій, час виконання яких може бути істотно скорочений за рахунок відповідних тренувань, можна виділити підготовку ланки до роботи (оснащення її засобами страхівки і порятунку потерпілих, зв'язку, пожежно-технічним озброєнням, виконання оперативної перевірки дихальних апаратів і т.д.). Розподіл часу виконання останньої показано на рис. 4.1 (суцільна лінія).

У той же час, виконання аналогічної операції в теплодимокамері (рис. 4.1, штрихова лінія), де особовий склад ГДЗС має відповідні знання і навички своїх дій, скошеність розподілів часу виконання - позитивна, оскільки переважна більшість результатів тяжіє до мінімального значення. Порівняльний аналіз дій ланки ГДЗС при підготовці до роботи в теплодимокамері і до виконання оперативного завдання в ході рятувальних робіт на станціях метрополітену показав [30,31], що час підготовки визначає роботу постового на посту безпеки. Відповідно, для скорочення часу виконання цієї операції в процесі планових занять основна увага повинна приділятися підвищенню рівня підготовленості постового на посту безпеки, а також розширенню його обов'язків на початковому етапі роботи ланки.

Порівняння показників скошеності розподілу часу приєднання рукава до пожежного крана (рис.4.4.) при виконанні цієї операції в різних умовах дозволяє говорити про необхідність у процесі підготовки рятувальників до

АРР СМ використовувати спеціальні вправи [59] для тренування координаційних якостей у стані стомлення.

Аналіз отриманих розподілів, характерних тільки для типових операцій загального процесу АРР СМ, показав, що всі розподіли часу виконання операції мають негативну скошеність, а розподіл швидкості виконання - позитивну. Це говорить про те, що штаб ліквідації НС у метрополітені повинен орієнтуватися на гірші результати.

Крім того, для проведення орієнтовних розрахунків за допомогою розробленої імітаційної моделі, коли немає можливості одержати відсутні дані за допомогою експертних методів, можна використовувати β -розподіл з узагальненими параметрами α і β . Для їх одержання спочатку були згруповані в кодованому вигляді (3.4) всі результати часу виконання типових операцій. Розрахунок за допомогою пакета прикладних статистичних програм [97] дозволив одержати шукану β -функцію:

$$\beta(x; 2.891; 2.005) = \frac{1}{B(2.891; 2.005)} \int_0^x 4.891 \cdot (1-x)^{1.005} dx. \quad (4.10)$$

Аналогічна процедура для розподілу швидкості виконання операцій, характерних для АРР СМ, дала параметри $\alpha=2,111$ і $\beta=2,995$.

Через те, що параметри отриманих розподілів $F(t)$ розраховані, виходячи з теоретичних міркувань, тобто вони є гіпотичними, була проведена оцінка ступеня узгодження теоретичних і статистичних розподілів за допомогою критерію Колмагорова $K(\chi)$.

Максимальна відмінність була при аналізі розподілу швидкості виконання типових операцій, які мають місце в ході АРР СМ. Результати обчислення критерію Колмагорова наведені в табл. 4.1.

У другому стовпці представлені величини часу виконання операції (у кодованих змінних) x , отримані експериментальним шляхом:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n, \quad (4.11)$$

де n – число проведених експериментів. $F_n^*(x)$ східчаста функція накопичених частот спостереженого ряду розподілів:

$$F_n^*(x) = \begin{cases} 0 & \text{для } 0 \leq x < x_1^* \\ \frac{k}{n} & \text{для } x_k^* \leq x < x_{k+1}^* \\ 1 & \text{для } 1 \leq x < x_n^* \end{cases}. \quad (4.12)$$

У четвертому стовпці представлені результати обчислення $\beta(x_i, 2, 91, 2, 0)$ за допомогою пакета прикладних програм Excel for Windows при рівних

експериментальним даним значеннях аргументу, а в четвертому – модуль їхньої різниці с. $F_n^*(x)$ Це дозволило знайти найбільше значення цих різниць:

$$D_n = \max \left| F_n^*(x) - \beta(x_n, 2.111, 2.995) \right| = \max |\Delta F| = 0.169, \quad (4.13)$$

а також шуканий добуток

$$\lambda_0 = D_n \cdot \sqrt{n} = 0.413. \quad (4.14)$$

Таблиця 4.1
Результати обчислення критерію згоди Колмогорова

№ п/п	x	$F_n^*(x)$	$\beta(x_i, 2, 91, 2, 0)$	$F_n^*(x) - \beta(x_i, 2, 91, 2, 0)$	D_n	λ
1	0	0	0	0	0,169	0,413
2	0,295	0,333	0,279	0,054		
3	0,310	0,5	0,465	0,035		
4	0,428	0,766	0,597	0,169		
5	0,451	0,833	0,798	0,035		
6	1	1	1	0		

З таблиці значень функції, наведеної в [94], знаходимо

$$1 - K(\lambda_0) = P\{D_n \cdot \sqrt{n} > \lambda\} > 0,9. \quad (4.15)$$

Таким чином, з 10%-им рівнем значимості можна говорити про збіжність теоретичних і експериментальних досліджень. Це, відповідно до [92,95,96], дозволяє використовувати отримані закономірності виконання типових операцій АРР СМ для пошукових досліджень.

4.1.3. Розкриття закономірностей роботи рятувальників у засобах індивідуального захисту органів дихання

4.1.3.1. Дослідження роботи рятувальників в апаратах на стисненому повітрі

Найпоширенішою і важливою характеристикою процесу дихання людини, що використовують у більшості ситуацій, пов'язаних з розрахунком часу роботи в ізолюючих апаратах (у ході АРР СМ їх виконують у штабі ліквідації НС, на постах безпеки та безпосередньо в ланках ГДЗС), а також обґрунтуванням вимог щодо створення і експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання, є [17] легенева вентиляція ω_l . Вона визначається кількістю повітря Q , що необхідна для дихання протягом часу t :

$$\omega_{\text{л}} = \frac{Q}{t}. \quad (4.16)$$

Ця характеристика залежить від фізичного стану людини. Так, у стані спокою людина робить 15-18 дихальних циклів за хвилину, дихальний обсяг у цьому випадку дорівнює близько $0,5 * 10^{-3} \text{ м}^3$, а легенева вентиляція, відповідно, – $0,12-0,15 * 10^{-3} \text{ м}^3 * \text{с}^{-1}$ [17]. При навантаженнях, які супроводжуються прискоренням окисних процесів у тканинах і збільшенням їхньої потреби в кисні, показник всіх трьох параметрів збільшується [17]. Тому як один з основних показників, що використовується для визначення часу роботи в ЗІЗОД, поряд з такими технічними характеристиками апаратів, як обсяг балонів і тиск газоповітряної суміші усередині них, обрано показник (4.16) з розмірністю [л/хв].

У науково-технічній [30] і довідковій літературі [59] наведені значення легеневої вентиляції, що відповідають виконанню робіт різного ступеня важкості. Однак особливості витрати запасу газоповітряної суміші, пов'язані зі специфікою проведення АРР СМ (виконання важких робіт у поєднанні з високою психоемоційною напруженістю, недостатня підготовленість рятувальників, про що було відзначено в 4.2.3, до виконання окремих операцій, характерних для ліквідації НС у метрополітені), не розглядалися. Під час роботи в АСП у керівних документах [59] рекомендується використовувати при проведенні розрахунків $\omega_{\text{л}} = 30 \text{ л/хв}$, коли використовуються вітчизняні апарати (АСВ-2, АІР-317, АВІМ і ін.), або $\omega_{\text{л}} = 40 \text{ л/хв}$, коли використовуються закордонні (Дрегер, Ауер і ін.), незалежно від характеру НС.

Дослідження роботи в АСП проводилися під час пожежно-тактичних навчань на станції "Радянська" Харківського метрополітену [30]. Оперативна робота випробуваного особового складу в АСП під час навчань поєднувала в собі включення в апарат, роботу з пожежно-технічним озброєнням, рух до "постраждалого" (рис. 4.5.) і наступну евакуацію його на свіже повітря різними способами:

- супровід тих, хто може пересуватися, але втратив здатність орієнтуватися в задимленому просторі (рис. 4.6.);
- перенесення (способом "на карабінах") тих, хто перебуває у свідомості, але не здатний пересуватися самостійно (рис. 4.7.);
- перенесення "потерпілих" без свідомості (рис. 4.8).

Були отримані значення для окремих видів оперативної роботи. Деякі з них наведені в табл. 4.2. Видно, що навіть роботи середньої ваги (спуск по нерухомому ескалатору), не говорячи вже про важкі і дуже важкі, спричиняють значне збільшення частоти дихання, що не може не призвести до збільшення легеневої вентиляції.



Рис. 4.5. Рух ланки ГДЗС до місця оперативної роботи



Рис. 4.6. Супровід "постраждалого"



Рис. 4.7. Перенесення "постраждалого" у стані свідомості

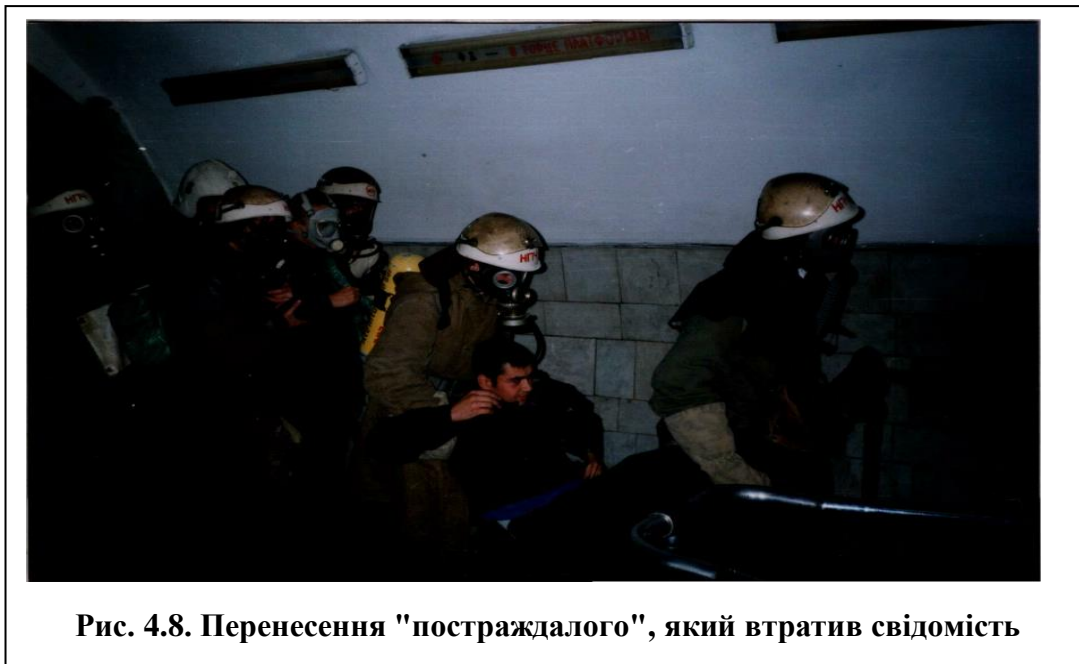


Рис. 4.8. Перенесення "постраждалого", який втратив свідомість

Таблиця 4.2
Порівняльна оцінка витрати повітря при роботі в АСП у ході АРР СМ

№ п/п	Виконувана робота	$\omega_{л}^* \cdot 10^{-3}$, м ³ /хв.	α	β	S_k	$G_{\text{пл}}^* \cdot 10^{-3}$, м ³ /хв.	У довідковій літературі, $\omega_{л}^* \cdot 10^{-3}$, м ³ /хв.
1	Спуск	79	2,87	1,99	-0,95	2,9	40
2	Підйом по ескалатору (супровід "постраждалого" у стані свідомості)	91	2,75	2,01	3,1	3,1	60
3	Перенесення "постраждалого" по ескалатору на карабінах	106	2,99	1,95	4,1	4,1	84
4	Перенесення "постраждалого" який втратив свідомість по ескалатору	120	2,92	1,83	4,8	4,8	84
5	Весь комплекс робіт у непридатному для дихання середовищі	99	2,83	2,15	-1,09	3,4	40
6	Робота в теплодимокамері	40	2,05	1,99	~0	2,3	40

Крім того, отримані відповідно до (4.17) значення витрати повітря кожного виду виконуваної в АСП роботи, подано у вигляді розподілів, деякі з яких наведені на рис. 4.9.

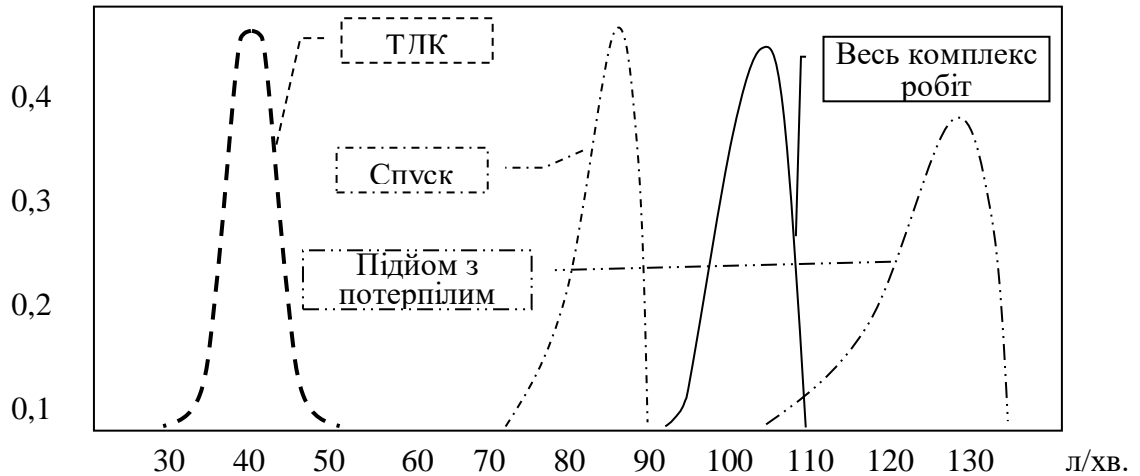


Рис.4.9. Розподіл розходу повітря під час роботи в АСП в метро

Аналіз результатів, наведених на рис.4.9., показує, що легенева вентиляція ω_l при виконанні будь-якої роботи обмежена як зверху, так і знизу, тобто завжди можна вказати максимальну легеневу вентиляцію $\omega_{l \max}$, що має місце бути при стіканні найбільш несприятливих обставин, і мінімальну легеневу вентиляцію $\omega_{l \min}$, що знадобиться для виконання роботи при найбільш сприятливому збігу обставин; легенева вентиляція при виконанні роботи може прийняти будь-яке значення в інтервалі $[\omega_{l \min}, \omega_{l \max}]$, тобто є безперервною випадковою величиною; легенева вентиляція при виконанні будь-якої можливої роботи залежить від великої кількості випадкових факторів, кожний з яких окремо є малоістотним. Вищесказане, за аналогією з наведеним у 4.1.2, дозволяє зробити висновок про те, що при проведенні імовірнісної оцінки легеневої вентиляції ω_l , що має місце при виконанні різних робіт, можна використовувати β -розподіл. Параметри останнього α і β , а також показник скошеності (4.3) визначені за допомогою пакета стандартних прикладних програм і наведені в табл. 4.2.

Перевірка, виконана за аналогією з (4.11)-(4.15), підтвердила доцільність використання β -розподілу з рівнем значимості 0,95.

Крім цього, важливо відзначити, що зі збільшенням ступеня важкості виконуваних у ході рятувальних робіт операцій відмінність між витратою запасу повітря при роботі в АСП від значень легеневої вентиляції, наведених у науково-технічній літературі [59], збільшується. Тобто, припустимий час виконання окремих операцій визначає не стільки показник легеневої вентиляції, що залежить від ступеня важкості конкретної роботи, скільки витрату повітря при роботі в АСП, що також залежить і від рівня підготовленості газодимозахисників.

Про це говорять і результати використання підходу, наведеного в 4.2, який опирається на аналіз показника скошеності. З даних, наведених у таблиці 4.2 і на рисунку 4.9., видно, що зі збільшенням ступеня важкості виконуваної роботи збільшується не тільки індивідуальний розкид у витраті

повітря, але й негативне значення показника скошеності. Виходячи із цього, можна вважати, що особовий склад оперативно-рятувальних підрозділів цивільного захисту під час роботи в АСП у ході АРР СМ недостатньо ефективно витрачає запас повітря. Причиною цього є недостатня підготовленість до проведення операцій, характерних тільки для процесу ліквідації НС у метрополітені.

Підтвердженням останнього можуть бути результати порівняння (табл. 4.2) показників витрати повітря при виконанні операцій, властиві рятувальним роботам, і під час роботи в ТДК (рис. 4.9.). Зважаючи на те, що тренування в теплодимокамері є найбільш складним видом ПЗ, де регулярно беруть участь всі газодимозахисники, у більшості з них під час роботи в ТДК відповідність значень витрати повітря, наведених у нормативно-технічній літературі [59], (це в той час, як у ході рятувальних робіт на станціях метрополітену вони істотно відрізняються), говорить про необхідність підвищення ефективності підготовки рятувальників. Використовувані вправи вимагають значного збільшення інтенсивності та складності, щоб у ході вдосконалення окремих якостей організувати навчання і тренування рятувальників правильному (глибокому і рівному) диханню при роботі в апаратах на стисненому повітрі.

Важливою закономірністю роботи рятувальників в ізолюючих апаратах є створення (при виконанні поставленого завдання в непридатному для дихання середовищі) запасу газоповітряної суміші $Q_{\text{вих}}$ для повернення. В [10,17,59] відзначається, що при роботі в АСВ мінімальний тиск у балонах на момент початку виходу $P_{\text{вих}}$ розраховується як

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}}, \quad (4.19)$$

де $P_{\text{вх}}$ - величина, на яку змінився тиск у балонах АСП за час руху, МПа;
 $P_{\text{рез}}$ - тиск, що повинен бути зарезервований на випадок непередбачених обставин під час повернення (для АСВ-2 $P_{\text{рез}} = 3$ МПа, для інших апаратів на стисненому повітрі $P_{\text{рез}} = 5$ МПа).

У той же час, якщо врахувати різницю у витраті повітря при спуску рятувальників $\bar{\omega}_{\text{лвх}}$ і підйомі по нерухомому ескалатору з потерпілим який втратив свідомість $\bar{\omega}_{\text{лвих}}$ (табл. 4.2), що при однаковій відстані S до місця роботи визначає час входу $t_{\text{вх}}$ й виходу $t_{\text{вих}}$ ланки або відділення ГДЗС, можна побачити, що без обліку тиску повітря, що резервується, відношення

$$\frac{P_{\text{ВИХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{Q_{\text{ВИХ}} \cdot P_a / V_{\text{б}}}{Q_{\text{ВХ}} \cdot P_a / V_{\text{б}}} = \frac{\bar{\omega}_{\text{ЛВИХ}} \cdot t_{\text{ВИХ}}}{\bar{\omega}_{\text{ЛВХ}} \cdot t_{\text{ВХ}}} = \frac{\bar{\omega}_{\text{ЛВИХ}} \cdot S / \bar{v}_{\text{ВИХ}}}{\bar{\omega}_{\text{ЛВХ}} \cdot S / \bar{v}_{\text{ВХ}}} = \quad (4.20)$$

$$= \frac{\bar{\omega}_{\text{ВИХ}} \cdot \bar{v}_{\text{ВХ}}}{\bar{\omega}_{\text{ВХ}} \cdot \bar{v}_{\text{ВИХ}}} \approx \frac{120 \cdot 19}{79 \cdot 12,5} \approx 2,3 ,$$

де $\bar{v}_{\text{ВХ}} \approx 19$ м/хв., $\bar{v}_{\text{ВИХ}} \approx 12,5$ м/хв. – середня швидкість руху рятувальників при спуску і підйомі по ескалатору з постраждалим, відповідно (див. рис.4.3).

Тобто, з обліком $P_{\text{рез}}$ і того, що тиск в АСВ-2 (розрахунковий тиск 20,0 МПа), при якому апарат може стояти на чергуванні, повинен бути більшим за 18,0 МПа, а в інших АСП (розрахунковий тиск 30,0 МПа) – більше 24,0 МПа [59], мінімальний тиск $P_{\text{ВИХ}}$ повітря в балонах АСП, при якому треба починати повернення на свіже повітря, повинен бути практично у три рази більшим за ту величину $P_{\text{ВХ}}$, на яку впав тиск за час руху до місця оперативної роботи. Одночасно це співвідношення дає і практичну рекомендацію з визначення того моменту, коли ланці (відділенню) ГДЗС необхідно припинити розвідку, – рятувальники повинні повертатись до поста безпеки при зменшенні тиску в АСП у кожного з них на одну четверту початкового $P_{\text{Поч}}$ тиску.

Крім цього, якщо врахувати, що більшість використовуваних в оперативно-рятувальних підрозділах АСП мають восьмилітрові (або два чотирьохлітрових) балони, постовий на посту безпеки може використовувати для розрахунку часу роботи рятувальників не величину витрати повітря і відповідні співвідношення, які зв'язують кількість повітря, тиск і час [60], а швидкість падіння тиску $\frac{\Delta P}{\Delta t}$.

Так, при спуску рятувальників по нерухомому ескалатору тиск зменшується зі швидкістю

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \frac{P_a}{V_{\text{б}}} = \left| \begin{array}{l} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \omega \approx 80 \text{ л/хв;} \\ V_{\text{б}} = 8\text{л}; P_a \approx 0,1\text{МПа} \end{array} \right| \approx 1\text{МПа/хв}, \quad (4.21)$$

а при підйомі потерпілого по нерухомому ескалатору -

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx 1.5 \text{ МПа / хв}. \quad (4.22)$$

Скорочення тривалості розрахунків передбачуваного часу роботи і повернення дасть можливість постовому на посту безпеки приділити більше уваги підготовці ланки і контролю за її роботою.

4.1.3.2. Особливості роботи в регенеративних дихальних апаратах

Суттєва відмінність у процесі функціонування СРЕСМ показників витрати повітря при роботі рятувальників в АСП від значень легеневої вентиляції, наведених у науково-технічній літературі, порушила питання й про відповідність наведених в [9] значень q подачі кисню в РДА, які рекомендуються для розрахунків часу роботи ланок і відділень ГДЗС при гасінні пожеж у метрополітені. Це пояснюється тим, що в основу обґрунтування значень подачі кисню при виконанні робіт різного ступеня важкості покладені значення легеневої вентиляції ω_l , при виконанні робіт такого ж ступеня важкості. Враховуючи замкнуту кругову подачу

$$q = \left(\eta_{O_{2вд.}} - \eta_{O_{2вид.}} \right) \cdot \omega_l, \quad (4.23)$$

де $\eta_{O_{2вд.}}$; $\eta_{O_{2вид.}}$ - частка кисню, відповідно, у вдихуваному (0,2095) і видихуваному (0,164) повітрі.

У зв'язку із цим під час ТСН в 2003 році на станції "Пушкінська" Харківського метрополітену були проведені дослідження особливості роботи рятувальників у РДА. Особовий склад працював у апаратах Р-30, які мають дволітрові балони і ощадливу систему подачі кисню [9]. В основі розрахункових співвідношень лежало співвідношення (4.17). Методика експериментальних досліджень у цілому відповідала наведеній в 4.3.1 для дослідження витрати повітря при роботі в АСП. Відмінність була тільки в тім, що розглядалися зміни показників тиску в балонах при найбільш важкому виді роботи (підйом потерпілого без свідомості по нерухомому ескалатору) і по всьому комплексу робіт у цілому. Розподіл подачі кисню для робіт, які досліджувалися, - на рис. 4.10.

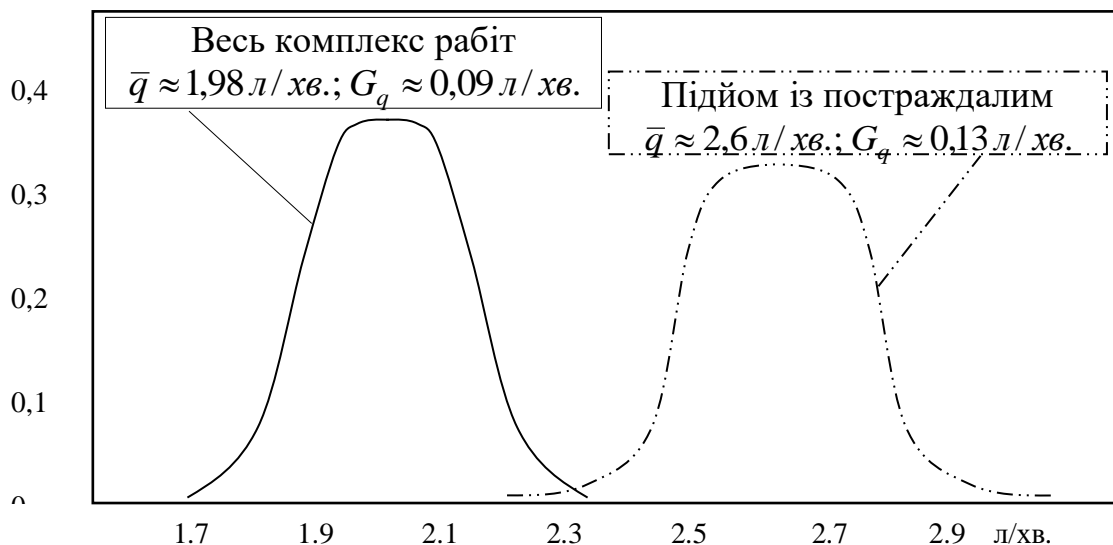


Рис. 4.10. Розподіл подачі кисню

Аналіз розподілів, виконаний аналогічно до аналізу, наведеному в 4.2.1, а також їх симетричність (в обох розглянутих випадках $S_k \approx 0$), дозволив зробити висновок про доцільність використання нормального розподілу для опису особливостей витрати кисню при роботі в РДА.

Отже, для всього комплексу робіт у РДА в СРЕСМ щільність розподілу подачі кисню має вигляд:

$$f(\bar{q}_\Sigma) = \frac{1}{G_{q_\Sigma} \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(q - \bar{q})^2}{2G_{q_\Sigma}^2}}, \quad (4.24)$$

де $\bar{q}_\Sigma = 1,98$ л/хв. – математичне очікування подачі кисню в РДА при виконанні всього комплексу АРР СМ;

$G_{\bar{q}_\Sigma} = 0,09$ л/хв. – середньоквадратичне відхилення подачі кисню в РДА при виконанні всього комплексу АРР СМ,

а для підйому потерпілого без свідомості:

$$f(q'_{\text{тр}}) = \frac{1}{G_{q'_{\text{тр}}} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(q' - \bar{q}'_{\text{тр}})^2}{2G_{q'_{\text{тр}}}^2}}, \quad (4.25)$$

де $\bar{q}'_{\text{тр}} = 2,6$ л/хв. – математичне очікування подачі кисню в РДА при підйомі потерпілого без свідомості;

$G_{\bar{q}'_{\text{тр}}} = 0,13$ л/хв. – середньоквадратичне відхилення подачі кисню в РДА при підйомі потерпілого без свідомості.

Перевірка за критерієм Колмогорова відповідно до (4.11)-(4.15) підтвердила те, що отримані експериментальні дані описуються нормальним розподілом з рівнем значимості 0,95. У той же час, якщо використовувати β -розподіл (для всього комплексу робіт розрахунок параметрів дав $\alpha=1,98$; $\beta=2,01$, а для підйому потерпілого без свідомості – $\alpha=2,04$ і $\beta=1,91$), те рівень значимості буде дорівнювати 0,9. Це дозволяє використовувати його при імітаційному моделюванні для одержання пошукових оцінок для того, щоб не збільшувати кількість підпрограм, до яких звертається основна програма.

Аналіз витрати кисню при роботі в регенеративних дихальних апаратах Р-30 показав, що подача кисню у повітровідну систему апарата в середньому становила $\bar{q} \approx 1,98$ л/хв. Така подача, як видно з (4.19), забезпечує легеневу вентиляцію $\bar{w}_n \approx 43,5$ л/хв. Отримані результати показали, що конструкція РДА з ощадливою подачею кисню забезпечує більш ощадливу витрату

газоповітряної суміші не тільки за рахунок використання замкнутої схеми дихання, але і за рахунок компенсації поверхневого дихання при роботі в такому апараті скороченням кількості вуглекислого газу, від якого необхідно очистити видихуване повітря в регенеративному патроні. Тому для спрощення розрахунків необхідного запасу кисню і часу роботи в РДА можна рекомендувати середню подачу $\bar{q} \approx 2 \text{ л/хв.}$, що для регенеративних дихальних апаратів із дволітровим балоном (наприклад, респіратор Р-30, що є на озброєнні в деяких підрозділах Харкова) фактично відповідає швидкості падіння тиску:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \frac{\bar{q} \cdot P_a}{V_6} \approx \frac{2 \cdot 0.1}{2} \approx 0.1 \text{ МПа/хв.} \quad (4.26)$$

Використання вираження (4.26), як і в разі використання (4.21) і (4.22) при роботі в АСП, сприяє скороченню тривалості розрахунків постовим на посту безпеки часу роботи в РДА.

Розглядалися й особливості застосування інших засобів індивідуального захисту, а саме апаратів на хімічно пов'язаному кисню.

Проведені експерименти щодо перенесення «потерпілих» газодимозахисниками в ІП-4 показали їхню неефективність, оскільки повітря всередині повітропровідної системи нагрівалося настільки сильно (понад 70°C), що мали місце випадки зриву лицьової частини особовим складом. В той же час, всі, хто включався в такі апарати, відзначали їхню зручність при виконанні легких та середнього ступеня важкості робіт.

4.2. Експертна оцінка часових і ймовірнісних характеристик виконання окремих операцій

4.2.1. Характеристика процесу одержання експертних оцінок

Аналіз моделі СРЕСМ, наведеної у 3.2, показує, що в ході ТСН і ПЗ залишиться велика кількість операцій, виконання яких досить важко змодельовати поза навчанням. Шукані показники для них можуть бути оцінені шляхом використання методу безпосередньої експертної оцінки [84], коли наявність прогнозованих значень, які дають фахівці, найбільш імовірного, максимального і мінімального показника часової характеристики виконання окремої операції дозволяє розрахувати основні параметри її розподілу.

Визначення показників, що характеризують окремі етапи, дослідження яких не проводилося безпосередньо шляхом фізичного моделювання (п. 3.2), може бути виконане за допомогою методу безпосередньої експертної оцінки [84,98]. Цей метод доцільно використовувати і у тому випадку, коли експерти, опираючись на експериментальні результати, повинні оцінити можливий характер зміни розподілу залежно від того, як змінюються

фактори (ступінь технічної оснащеності, рівень підготовленості особового складу пожежно-рятувальних підрозділів і/або персоналу метрополітену, реалізація нормативних вимог на станції та ін.), що впливають на результати рятувальних робіт.

Результати фізичного моделювання показали, що для опису часу виконання окремих операцій доцільно використовувати β -розподіл. При цьому розподіл часу виконання конкретної операції характеризується своєю скошеністю (п. 3.2) і, відповідно, своїм набором параметрів α і β . Виходячи з останнього, у розглянутому випадку доцільно використовувати модифікований метод безпосередньої експертної оцінки [99,100], що дозволяє одержати основні параметри скошеного одновершинного розподілу часових або імовірнісних характеристик виконання конкретних операцій.

Аналіз результатів експертної оцінки часу виконання окремих операцій, з яких складається СРЕСМ, показав, що мають місце випадки, коли оцінки найбільш імовірного часу \tilde{t}_{ji} виконання j -ої операції в окремих експертів різко відрізняються від таких оцінок інших фахівців. У зв'язку із цим, по кожній операції, перш ніж приступити до обчислення її узагальнених характеристик, необхідно перевірити погодженість думок експертів про те, у якому місці інтервалу $[t_{\min ji}, t_{\max ji}]$ перебуває найбільш імовірний час \tilde{t}_{ji} її виконання і як він впливає на середній час виконання \bar{t}_{ji} . У тому випадку, коли результати перевірки не підтверджують невинуватого погодженість експертів, оцінки, дані тим фахівцем, у якого найбільш імовірний час істотно відрізняється від аналогічної характеристики інших фахівців, виключаються з подальшого розгляду.

І тільки після цього розраховуються оцінки мінімального $t_{\min ji}$, найбільш імовірного \tilde{t}_{ji} й максимального $t_{\max ji}$ часу виконання j -ої операції, необхідні для розрахунку параметрів α і β її розподілу. При цьому використовується так званий дельфійський метод [92] вирівнювання індивідуальних оцінок експертів і зведення їх до загального показника. Реалізація цього методу дозволяє виключити із загального числа оцінки того експерта, що вибрав діапазон між $t_{\min ji}$ і $t_{\max ji}$, який істотно відрізняється від аналогічних характеристик інших експертів.

4.2.2. Перевірка погодженості експертів

Групова експертна оцінка вважається досить надійною тільки за умови достатньої погодженості відповідей опитуваних фахівців [101,102]. Виходячи із цього, статистичній обробці інформації, отриманої від експертів, передують оцінка ступеня погодженості їх думок. Тим більше, що аналіз результатів експертної оцінки часу виконання окремих операцій, які становлять процес АРР СМ, показав: мають місце випадки, коли деякі експерти припускають, що основна частка результатів тяжіє до кращих, тоді як інші фахівці вважають, що – до гірших, і навпаки. Проявляється це в тому, у якому місці

(до або після середини інтервалу $[t_{\min ji}, t_{\max ji}]$) передбачається місце знаходження оцінки \tilde{t}_{ji} . Тобто ці експерти припускали, що розподіл часу виконання розглянутої операції буде мати знак (плюс або мінус) при показнику скошеності, що діаметрально відрізняється від знака, на який вказують інші фахівці при показнику скошеності розподілу часу виконання цієї ж операції.

У зв'язку із цим по кожній j -ій операції була перевірена погодженість думок експертів [101,102]. Для цього отримані оцінки кожного експерта спочатку були закодовані

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{t}_{ij} - t_{ij \min}}{t_{ij \max} - t_{ij \min}} . \quad (4.27)$$

Після цього оцінки в кодованих змінних (4.27) були проранжовані таким способом: якщо $\tilde{x}_{ij} < 0,5$, то результати, які мають значення менше того, що відповідає середині діапазону, мають ранг $v_{1i} = 1$; результати поблизу середини діапазону – $v_{2i} = 2$, а результати в другій половині діапазону – $v_{3i} = 3$. В іншому разі ($\tilde{x}_{ij} > 0,5$): $v_{1i} = 3$, $v_{2i} = 2$, $v_{3i} = 1$. Коли ж експерт затруднявся у визначенні \tilde{t}_{ji} і установлював її в середині діапазону ($\tilde{x}_{ij} \approx 0,5$), приймалося $v_{1i} = v_{2i} = v_{3i} = 2$.

Тобто, використовувалася наступна умова ранжування:

$$\{v_{1i}, v_{2i}, v_{3i}\} = \begin{cases} \{1, 2, 3\}, & \text{если } \tilde{x}_{ij} < 0.5; \\ \{3, 2, 1\}, & \text{если } \tilde{x}_{ij} > 0.5; \\ \{2, 2, 2\}, & \text{если } \tilde{x}_{ij} \approx 0.5. \end{cases} \quad (4.28)$$

Крім того, беруться до уваги наступні позначення: q – кількість суперечливих оцінок, тобто тих, у яких відрізняється місце найбільш імовірного часу виконання операції в порівнянні з місцем, що вказує основна група експертів; p – кількість оцінок, у яких експерти, затрудняючись укаати місце найбільш імовірного часу виконання операції, за таку величину вибирають середину діапазону. У тому разі, коли всі експерти найбільш імовірним результатом вважали середину діапазону, приймається $q = p = 0$.

Такі перетворення дозволяють перейти до оцінки погодженості думок експертів за допомогою загального коефіцієнта рангової кореляції групи, що складається з m експертів [99], так званого коефіцієнта конкордації W , опираючись на наведені в [92] вирази. Вважаючи, що рівень значимості α не повинен перевищувати 0,05, а також те, що залучена група експертів не перевищує 8 чоловік, приймається

$$W > W_{\text{дон}}, \text{ якщо } \begin{cases} p=0, q=0 \text{ при } m=4; \\ p=1, q=0 \text{ при } m=5; \\ p=2, q=0 \text{ при } m=6 \div 7; \\ p=3, q=0 \text{ при } m=8; \\ p=1, q=1 \text{ при } m=8. \end{cases} \quad (4.29)$$

де m – кількість експертів.

У тому випадку, коли отримані оцінки експертів не відповідають вимозі (4.29), одна з оцінок відкидається, і перевірка погодженості здійснюється заново. Відповідно до (4.29) у першу чергу відкидається одна із суперечливих оцінок, якщо така є, а потім уже оцінка, у якій експерт як найбільш ймовірний час і виконання операції вибере середину діапазону. Якщо існує кілька оцінок, одна із яких може бути відкинута, то спочатку відкидається така оцінка того фахівця, що припускає більший діапазон $[t_{\min ji}, t_{\max ji}]$, оскільки саме вони переважно відкидаються в процесі реалізації (див.4.2.3) дельфійського методу вирівнювання індивідуальних оцінок експертів.

4.2.3. Порядок одержання параметрів розподілу часу виконання окремих операцій, що забезпечують проведення рятувальних робіт

Для одержання параметрів розподілу часу виконання окремих операцій ходу рятувальних робіт використовується модифікований метод безпосередньої експертної оцінки, що базується на гіпотезі про те, що розподіл випадкових значень оцінок часу виконання такої операції описується β -розподілом [68]. Застосування даного розподілу дозволяє використовувати для одержання основних параметрів розподілу (α і β) метод трьох оцінок [88]. Для його реалізації треба знати узагальнені оцінки мінімального $t_{\min ji}$, максимального $t_{\max ji}$ і найбільш імовірного \tilde{t}_{ji} часу виконання розглянутої j -ої операції. Величина \tilde{t}_{ji} розглядається як оцінка моди розподілу часу виконання j -ої операції. При цьому, оцінки мінімального $t_{\min ji}$ і максимального $t_{\max ji}$ часу разом з параметрами розподілу α і β використовуються [74,88] для одержання випадкової оцінки часу виконання розглянутої операції в процесі імітаційного моделювання СРЕСМ.

Для одержання узагальнених оцінок, необхідних для оцінки параметрів розподілу, у процесі виконання роботи від кожного i -го експерта потрібно вказати прогнознi значення найбільш імовірного \tilde{t}_{ji} , мінімального $t_{\min ji}$ і максимального $t_{\max ji}$ часу виконання j -ої операції. Щоб накопичити вихідні дані, необхідні для експертної оцінки, використовувалися спеціальні форми у вигляді, представленої в табл. 4.3, у які вносилися індивідуальні оцінки експертів.

Таблиця 3.3

Оцінка часу виконання окремих основних операцій і-м експертом

Основні операції	Експертні оцінки			Розрахункові величини
	t_{\min}	\tilde{t}	t_{\max}	G
1				
2				
. . .				
k				

Обробка результатів експертного опитування виконувалася відповідно до [82]. Особливістю є використання дельфійського методу спочатку стосовно оцінок \tilde{t}_{ji} найбільш імовірного часу виконання, і тільки після цього – до оцінок максимального $t_{\max ji}$ і мінімального $t_{\min ji}$ часу. Це викликано тим, що допускається наявність суперечливих оцінок експертів стосовно місця знаходження моди розподілу. І найбільші розбіжності можуть бути саме між цими оцінками і середньоарифметичним всієї сукупності оцінок розглянутої операції.

Використовується наступна послідовність:

1. Виключення із загального числа тих оцінок, які різко відрізняються. За аномальні приймаються значення оцінок, що задовольняють нерівності:

$$|\tilde{t}_{ji} - \tilde{t}'_j| \geq \alpha \cdot G'_j, \quad (4.30)$$

де $\alpha = 3,0$;

$\tilde{t}'_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{t}_{ji}$ – середнє арифметичне значення оцінки найбільш імовірного

часу виконання j-ой операції;

$G'_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\hat{t}_{ji} - \tilde{t}'_j)^2}$ – середньоквадратичне відхилення оцінки.

Після відкидання аномальних значень обчислення повторюються. Потім виконуються аналогічні процедури стосовно оцінок максимального і мінімального часу розглянутої операції.

2. Оцінка величини G_{ij} середньоквадратичного відхилення j -ої операції, що дав i -ий експерт ($j=1,2,\dots,k$, де k - кількість розглянутих основних операцій ходу АРР СМ; $i=1,2,\dots, m$, де m - кількість експертів).

Зважаючи на те, що для одновершинних розподілів середньоквадратичне відхилення приблизно дорівнює $1/6$ інтервалу, на якому розглядається розподіл [85,89], дана оцінка розраховується як

$$G_{ij} \approx \frac{t_{ij \max} - t_{ij \min}}{6} . \quad (4.31)$$

3. Оцінка вагового коефіцієнта i -ого експерта при оцінці j -ої основної операції

$$P_{ij} = \frac{G^2_{0j}}{G^2_{ij}} , \quad (4.32)$$

де G^2_{0j} – постійна, котра вибирається з умови

$$\sum_{i=1}^m P_{ji} = 1 , \quad (4.33)$$

тобто

$$G^2_{0j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{G^2_{ij}}} . \quad (4.34)$$

4. Визначення усередненої думки експертів для встановлення найбільш імовірного часу виконання j -ої операції. Оцінка усередненого значення цієї характеристики здійснюється шляхом знаходження середньозваженого значення за спостереженнями всіх експертів:

$$\tilde{t}_j = \sum_{i=1}^m P_{ji} \cdot \tilde{t}_{ji} . \quad (4.35)$$

Середньозважені значення максимального $t_{\max j}$, мінімального $t_{\min j}$ часу виконання розглянутої операції знаходяться аналогічно, відповідно до (4.35).

Наявність середньозважених оцінок $t_{\min j}$, \tilde{t}_j і $t_{\max j}$ дозволяє знайти параметри α і β розподілу часу виконання j -ої операції. Для розрахунку

можуть використовуватися як методи наближеного обчислення, так і використання запропонованих в [79] аналітичних залежностей:

$$\alpha_j = \frac{A^2 \cdot \tilde{t}_j + 2 \cdot t_{j\min} + t_{j\max} - 3 \cdot \tilde{t}_j - A^2 \cdot t_{j\min}}{t_{j\max} - t_{j\min}}, \quad (4.36)$$

$$\beta_j = \frac{3 \cdot \tilde{t}_j - A^2 \cdot \tilde{t}_j - t_{j\min} - 2 \cdot t_{j\max} + A^2 \cdot t_{j\max}}{t_{j\max} - t_{j\min}}, \quad (4.37)$$

де A – дійсний корінь рівняння

$$\begin{aligned} & (t_{j\min}^2 - 2t_{j\min}t_{j\max} + t_{j\max}^2) x^6 + (40t_{j\min}t_{j\max} - 2t_{j\max}^2 - \\ & - 36t_{j\min}\tilde{t}_j - 36\tilde{t}_j^2 - 2t_{j\min}^2 - 36t_{j\min}t_{j\max}) x^4 + (-35t_{j\max}^2 + 216t_{j\min}t_{j\max} - \\ & - 146t_{j\min}t_{j\max} - 216\tilde{t}_j^2 - 35t_{j\min}^2 + 216t_{j\max}\tilde{t}_j) x^2 - 72t_{j\max}^2 - 324t_{j\min}\tilde{t}_j + \\ & + 180t_{j\min}t_{j\max} + 324\tilde{t}_j^2 + 724t_{j\min}^2 - 324t_{j\max}\tilde{t}_j = 0. \end{aligned} \quad (4.38)$$

У разі використання методів наближеного обчислення використовуються основні властивості β -розподілу, які встановлюють зв'язок між статистичними характеристиками вихідних даних, розміщених у діапазоні від 0 до 1 (для цього використовується їх кодування (3.25)), з параметрами α і β . Зокрема, відомо [68], що мода β -розподілу дорівнює

$$\frac{\tilde{t}_j - t_{j\min}}{t_{j\max} - t_{j\min}} = \tilde{x}_j = \frac{\alpha_j - 1}{\alpha_j + \beta_j - 2}, \quad (4.39)$$

а дисперсія

$$D(x_j) = \frac{\alpha_j \cdot \beta_j}{(\alpha_j + \beta_j)^2 \cdot (\alpha_j + \beta_j + 1)}. \quad (4.40)$$

Останній вираз, стосовно властивості середньоквадратичного відхилення одновершинного розподілу, можна розглядати як

$$\frac{\sqrt{\alpha_j \cdot \beta_j}}{(\alpha_j + \beta_j) \sqrt{\alpha_j + \beta_j + 1}} \approx \frac{1}{6}. \quad (4.41)$$

У процесі наближеного обчислення параметрів α і β ураховується поряд із залежностями (4.39) і (4.41) також те, що [68] основою визначення β -

розподілу є β -функція Ейлера $B(\alpha, \beta)$, певна для всіх дійсних значень $\alpha > 0$ і $\beta > 0$.

Досвід обчислення параметрів α і β показав зручність використання методів наближеного обчислення, зокрема методу найшвидшого спуску.

4.3. Особливості подання вихідних даних для моделювання СРЕСМ

Однією з найважливіших макропозицій, що вводяться в Є-мережах, є генератор, що являє собою крайову некінцеву позицію мережі, яка забезпечує появу маркерів у часі відповідно до якого-небудь закону. В [78] показано, що можна застосовувати як постійну періодичну генерацію, так і генерації, засновані на будь-яких законах випадкового розподілу (рівномірного, нормального, експонентного, Пуассона, Ерланга...). Однак на практиці виявилось, що статистичне імітаційне моделювання СРЕСМ поєднане з рядом проблем, які пов'язані, у першу чергу, із законом розподілу часових характеристик тих операцій, що становлять розглянутий процес, а саме β -розподілом.

Основними труднощами стало те, що існуючі пакети прикладних програм [103], які забезпечують функціонування Є-мереж, не працюють із показниками, які описуються γ -, а відповідно і β -розподілами. У той же час, у попередніх розділах показано, що час виконання як окремих операцій усього розглянутого процесу, так і деяких часток часових показників, що впливають на ефективність оперативної роботи (наприклад, витрати повітря), досить адекватно може бути описане за допомогою β -розподілу. Відмовитися від останнього неможливо, тому що частину вихідних даних для розробленої імітаційної моделі отримуємо на основі використання методу експертних оцінок, в основі якого лежить саме опора на β -розподіл [84]. Виходячи з цього, було поставлене наступне завдання: перейти від отриманих вихідних даних, описаних за допомогою β -розподілу, до одного з тих розподілів, робота з яким у стандартному пакеті прикладних програм, що реалізує апарат, передбачалася спочатку.

У зв'язку із цим були проаналізовані отримані раніше і наведені в 4.2 і п. 4.3 розподіли часових показників, які характеризують виконання окремих операцій оперативної роботи. Аналіз отриманих результатів дозволяє припустити, що вони можуть бути описані не тільки за допомогою β -розподілу, але і за допомогою зміщеного розподілу Ерланга, оскільки:

- числові значення розглянутих показників обмежені знизу, що може бути пояснено наявністю граничних можливостей людини, але при цьому можуть тривати і необмежено довго;
- час виконання операції може прийняти будь-яке значення в інтервалі $[t_{\min}, \infty]$, тобто є безперервною випадковою величиною;
- серед комплексу операцій, які виконуються особовим складом, можуть зустрічатися такі, час виконання яких залежить від великої кількості випадкових факторів, кожний з яких окремо є малоістотним, а також

операції, на час виконання яких впливає невелике число важливих факторів.

Перша особливість вимагає, щоб закон розподілу був усіченим на інтервалі $[t_{min}, \infty)$; друга – безперервності закону розподілу, а третя – вимагає, щоб закон розподілу був таким, при якому найбільш імовірне значення часу виконання роботи могло розташовуватися в будь-якому місці інтервалу $[t_{min}, t_{max}]$. Всім цим вимогам і відповідає зміщений розподіл Ерланга:

$$f(t) = t_{min} + \mu \cdot \frac{[\mu \cdot (t - t_{min})]^r}{r!} \cdot e^{-\mu(t - t_{min})}, \quad (4.42)$$

де μ – параметр закону Ерланга, c^{-1} ;

r - порядок закону Ерланга.

Виходячи з того, що до основних властивостей розподілу Ерланга [92] відносяться наступні співвідношення, які встановлюють залежність дисперсії $D(X)$ і математичного очікування з параметром μ і порядком r закону Ерланга,

$$D(X) = \frac{r+1}{\mu^2}; \quad (4.43)$$

$$M(X) = \frac{r+1}{\mu}, \quad (4.44)$$

знаходження параметрів μ і r для всіх розподілів, отриманих експериментально, не становить ніяких труднощів

Перевірка того, що розбіжності між емпіричними розподілами і отриманими теоретичними є випадковими, виконується [92] за допомогою критерію Романовського:

$$R = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}}, \quad (4.45)$$

де $k = n - 2$ - число ступенів волі;

n - число груп, за якими виводиться порівняння;

χ^2 - критерій Пірсона.

Вона показала, що величина критерію Романовського для всіх розподілів, які були отримані експериментально, при їх порівнянні з теоретичними, представленими у вигляді (4.40), по своєму абсолютному значенню менше трьох. Це дозволило зробити висновок [68] про те, що для даних розподілів часу виконання окремих операцій модель зміщеного закону розподілу Ерланга є прийнятною для практичного використання.

Аналогічним способом розраховуються параметри зміщеного

розподілу Ерланга і для тих випадків, коли оцінки часу виконання окремих операцій, що забезпечують проведення рятувальних робіт, знаходять за допомогою експертів (див.4.2). Однак цьому етапу передуює перехід від β -розподілу до розподілу Ерланга. Для цього використовується моделювання на ЕОМ часу виконання розглянутої операції шляхом обчислення зворотної F^{-1} функції β - розподілу і одержання відповідної безлічі значень:

$$\{t_y = F^{-1}(y, \alpha_y, \beta_y, \tilde{t}_{y \max}, \tilde{t}_{y \min})\}, \quad (4.46)$$

де y - одне з безлічі чисел, розподілених рівномірно на діапазоні $[0;1]$.

Використовуючи (4.43) і (4.44), обробка експертних оцінок у вигляді безлічі $\{t_y\}$ дозволяє після відповідної перевірки за (4.45) їх також подати у вигляді (4.42).

Висновки з четвертого розділу

1. У результаті експериментальних досліджень отримано закономірності виконання типових операцій при проведенні рятувальних робіт на станціях метрополітену:

- відмінною рисою типових операцій, які виконують рятувальники при проведенні рятувальних робіт на станціях метрополітену, є те, що розподіл часу їх виконання може бути описаний за допомогою β -розподілу, що має параметри $\alpha=2,111$ і $\beta=2,995$, а розподіл швидкостей виконання операцій, характерних для СРЕСМ, – має параметри $\alpha=2,895$ і $\beta=2,005$;
- новизна полягає в тому, що вперше отримані параметри розподілу, які дозволяють використовувати для їх імітаційного моделювання на ЕОМ ті ж самі програмні засоби, що і для подання аналогічних закономірностей, отриманих за допомогою модифікованого методу експертних оцінок;
- вірогідність наукового результату забезпечена використанням апробованих статистичних методів обробки експериментальних даних. Отримані результати дозволяють говорити про 10%-ий рівень значимості значень отриманих параметрів;
- практична значимість полягає як у забезпеченні вихідними даними імітаційної моделі АРР СМ, так і в обґрунтуванні висновку про те, що при аналізі окремих рекомендацій штабу ліквідації НС у метрополітені доцільно орієнтуватися на гірші результати. Крім того, за величиною скошеності розподілу часу або швидкості виконання типових операцій АРР СМ можна оцінити рівень підготовленості рятувальників. Чим більше позитивне значення розглянутого показника при оцінці часу виконання (при оцінці швидкості - негативне), тим більша кількість рятувальників виконує розглянуту оперативну операцію з результатами, близькими до найкращих; це свідчить про те, що подальша підготовка не дасть істотного поліпшення результатів. І навпаки, чим більший модуль цього показника для розподілів з

негативною скошеністю (при оцінці тривалості виконання), тим істотніше будуть поліпшуватися результати після тренування.

2. Визначено закономірності роботи рятувальників у засобах індивідуального захисту органів дихання:

- їх суттю є положення про те, що в ході рятувальних робіт розподіл швидкості витрати запасу газоповітряної суміші рятувальниками при їх роботі в засобах індивідуального захисту органів дихання залежить як від характеру виконуваної роботи, так і від принципу дії використовуваного ізолюючого апарата;

- новизна - вперше відзначено, що в СРЕСМ розподіл швидкості витрати повітря при роботі в АСП є скошеним, а розподіл подачі кисню в регенеративних дихальних апаратах – нормальним. Виконання рятувальниками, що перебувають в АСП, робіт з більшим ступенем важкості характеризується більшою негативною скошеністю і більшим значенням коефіцієнта варіації розподілу швидкості витрати повітря;

- вірогідність результату забезпечена використанням для обробки експериментальних даних апробованих статистичних методів. Використана вибірка дозволяє з 10%-им рівнем значимості говорити про скошений характер розподілу витрати повітря при роботі в АСП і симетричний – при роботі в РДА;

- практична значимість розглянутого результату полягає в тому, що отримані закономірності проведення АРР СМ в ізолюючих апаратах є основою методичних рекомендацій постовому на посту безпеки щодо розрахунків часу роботи ланок і відділень ГДЗС у непридатному для дихання середовищі метрополітену. Як основні практичні рекомендації можна виділити наступні:

- при проведенні розвідки в метрополітені ланка (відділення) ГДЗС, що працює в АСП, повинна почати повернення до поста безпеки при зменшенні тиску в балонах у кожного з рятувальників на одну четверту початкового. У разі роботи в апаратах, які мають 8-літровий балон, постовий на посту безпеки може використовувати для розрахунку часу роботи рятувальників швидкість падіння тиску від 1 МПа/хв. для ситуації спуску ланки по нерухомому ескалатору до 1,5 МПа/хв. при підйомі потерпілого без свідомості по нерухомому ескалатору;

- подача кисню у повітропровідну систему РДА з ощадливою подачею в середньому становить майже 2 л/хв. Це дозволяє постовому на посту безпеки для розрахунку часу роботи рятувальників при роботі в метрополітені використовувати швидкість падіння тиску кисню в апаратах, які мають 2 літрові балони, приблизно 0,1 МПа/хв.

3. Вдосконалено спосіб безпосередньої експертної оцінки часу виконання типових операцій у метрополітені, суть якого полягає в тому, що розрахунок середньозважених оцінок часу виконання операцій після перевірки погодженості експертів забезпечує скорочення кількості проміжних обчислень.

4. Розроблено засіб подання вихідних даних для моделювання часу виконання типових операцій за допомогою апарата Є-мереж, що дозволяє

перейти від β -розподілу часових характеристик виконання окремих операцій до зміщеного розподілу Ерланга, з яким працюють існуючі пакети прикладних програм, що забезпечують функціонування Є-мереж. Суть способу полягає у використанні зворотної функції β -розподілу для розрахунку параметрів розподілу Ерланга зі зміщеною точкою відліку. Для подання вихідних даних, отриманих за допомогою експертів, доцільно використовувати перехід до розподілу Ерланга. Для подання вихідних даних, отриманих за допомогою експертів, доцільно використовувати перехід до розподілу Ерланга шляхом генерації на ЕОМ безлічі варіантів часу виконання розглянутої окремої операції за допомогою обчислення зворотної функції β -розподілу.

5. ІМІТАЦІЙНА ОЦІНКА ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ТРИВАЛІСТЬ ВИКОНАННЯ ОКРЕМИХ ЕТАПІВ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

5.1. Метод багатофакторної імітаційної оцінки закономірностей

5.1.1. Вибір плану імітаційного експерименту та відбір основних факторів

Під час проведення експертного опитування (п. 3.3.3) експерти висунули умови, які вплинули як на вибір плану проведення багатофакторного імітаційного експерименту, так і на вибір факторів. Зокрема, було відзначено побажання не розглядати одночасно більше трьох факторів. Це пов'язано з тим, що вплив більшої кількості факторів, які впливають на функціонування СРЕСМ, оцінити досить важко, оскільки даний процес є складною системою, стан якої швидко змінюється.

Крім цього, експерти вказали на доцільність оцінки впливу обраних факторів у тому випадку, коли вони змінюються на двох рівних інтервалах. Це пов'язано з незначною тривалістю (до однієї хвилини) більшості операцій.

За результатами аналізу особливостей ходу АРР СМ (див.3.1), були виділені наступні значимі фактори:

x_1 – підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби;

x_2 – підготовленість персоналу метрополітену;

x_3 – ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог [104].

Експерти підтвердили значимість цих факторів і їх безпосередній вплив на ефективність пожежно-рятувальних робіт. Використовуючи метод безпосередньої експертної оцінки (п. 3.3.3), нами був розрахований час виконання окремих операцій на різних рівнях і отримані середньозважені оцінки мінімального, найбільш імовірного і максимального часу виконання кожної операції, що забезпечують функціонування СРЕСМ.

Аналіз відібраних факторів показує, що вони впливають на хід проведення рятувальних робіт нелінійно. Так, підвищення рівня практичної виучки як особового складу оперативно-рятувальних підрозділів, так і персоналу метрополітену буде сильніше позначатися на час розглянутого процесу при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, чим від середнього до високого. Аналогічна залежність має місце і для ступеня реалізації нормативних вимог. Нелінійний вплив факторів у поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним поданням [105,106].

Крім цього, можна припустити, що впливи факторів між собою взаємозалежні. Зокрема, при швидких і правильних діях співробітників метрополітену аналогічні дії особового складу оперативно-рятувальних підрозділів будуть проявлятися слабкіше, і навпаки. Схожа ситуація має місце і зі ступенем реалізації нормативно-технічних вимог – чим більше вони виконані, тим менше будуть працювати рятувальники. У поліноміальній

моделі ефекти взаємодії можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами при добутку розглянутих факторів.

Таким чином, поліноміальна модель часу виконання (у кодованих перемінних) розглянутого етапу рятувальних робіт у загальному виді повинна мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\
 & + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2 + \qquad \qquad \qquad + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
 & + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_3^2
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Кодування отриманих результатів виконується відповідно до (4.25).

Виходячи з вищесказаного, був обраний план імітаційного експерименту $3 \times 3 \times 3$ – традиційний план техніко-економічних експериментів, використовуваний при дослідженні впливу окремо кожного із трьох факторів на трьох рівнях (за інших рівних умов). План має відповідні статистичні характеристики і кращі за точністю оцінки всіх коефіцієнтів регресії $\{ks\}$ [106].

5.1.2. Побудова поліноміальних моделей

При проведенні багатофакторного імітаційного моделювання відповідно до обраного плану найгірші показники відповідають рівню "1-1-1", середні – рівню "0 0 0", а кращі – "1 1 1". Використовуючи розроблену імітаційну модель (п. 2), було проведено 27 експериментів по 100 ітерацій кожний. У підсумку для кожного розглянутого етапу АРР СМ отримано 27 середніх значень виконання комплексу операцій при різних сполученнях рівнів, а також 27 значень середньоквадратичного відхилення. Зміна відібраних факторів на трьох рівнях через рівні інтервали дозволяє істотно спростити побудову шуканих поліноміальних моделей, оскільки в результаті цього при розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} можна використовувати готові формули, наведені в [106]:

$$b_0 = A_0(0Y) \cdot \Sigma A_{0i}(iiY), \tag{5.2}$$

$$b_i = A_i(iY), \tag{5.3}$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \tag{5.4}$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \tag{5.5}$$

де $A_0, A_{0i}, A_i, A_{ij}, A_{ii}$ – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії при симетричних планах [106];

$0Y, iiY, iY, ijY$ – суми результатів імітаційних експериментів.

Для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів використовувалися вирази:

$$G^2\{b_0\} = \sqrt{A_0} \cdot G, \quad (5.6)$$

$$G^2\{b_i\} = \sqrt{A_i} \cdot G, \quad (5.7)$$

$$G^2\{b_{ij}\} = \sqrt{A_{ij}} \cdot G, \quad (5.8)$$

$$G^2\{b_{ii}\} = \sqrt{A_{ii}} \cdot G, \quad (5.9)$$

де G^2 – дисперсія результатів імітаційних експериментів.

Отримані результати розрахованих коефіцієнтів дозволили побудувати набір трифакторних квадратичних моделей, які встановлюють кількісний зв'язок між часами.

Зокрема, модель, що характеризує час рятування потерпілого першою ланкою газодимозахисної служби (ГЗДС), має вигляд:

$$\begin{aligned} y_1 = & 0.346 - 0.3207x_1 - 0.0283x_1^2 + 0.0272x_1x_2 - 0.0623x_1x_3 - \\ & - 0.0348x_2 + 0.0146x_2^2 + 0.0061x_2x_3 - \\ & - 0.1169x_3 - 0.0128x_3^2 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Модель гасіння пожежі на початковому етапі:

$$\begin{aligned} y_2 = & 0.6275 - 0.0361x_1 + 0.0002x_1^2 - 0.0082x_1x_2 - 0.0028x_1x_3 - \\ & - 0.3855x_2 - 0.1075x_2^2 + 0.0266x_2x_3 - \\ & - 0.1161x_3 - 0.0014x_3^2, \end{aligned} \quad (5.11)$$

а модель, що характеризує час попереднього оперативного розгортання сил і засобів оперативно-рятувальної служби, –

$$\begin{aligned} y_3 = & 0.6687 - 0.4127x_1 - 0.1634x_1^2 + 0.0007x_1x_2 - 0.0161x_1x_3 - \\ & - 0.013x_2 + 0.0006x_2^2 + 0.0034x_2x_3 - \\ & - 0.0984x_3 - 0.0039x_3^2. \end{aligned} \quad (5.12)$$

У моделях (5.10) - (5.12) збережені всі оцінки коефіцієнтів.

5.1.3. Аналіз залежностей, що характеризують тривалість виконання окремих етапів функціонування СРЕСМ

Інтерпретація отриманих моделей (5.10) – (5.12) проводиться при наростаючому ступені ризику відкинути правильну гіпотезу [105,106]. Значимість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багаторазово від рівня значимості $\alpha = 0,001$ до $\alpha = 0,5$.

Для оцінки помилок розрахунку коефіцієнтів регресії розраховується середня дисперсія вимірів. Для цього спочатку була перевірена гіпотеза однорідності ряду дисперсій по G-критерію Кохрена:

$$K_h = \frac{(G_n^2)_{\max}}{\sum_{n=1}^n G_n^2}, \quad (5.13)$$

де $(G_n^2)_{\max}$ – максимальна дисперсія в розглянутому ряді;

$n = 27$ – кількість точок обраного плану $3 \times 3 \times 3$.

Оскільки при рівні ризику $\alpha = 0,05$, число ступенів свободи

$$f_1 = m - 1 = 100 - 1 = 99 \quad \text{і} \quad f_2 = 27,$$

табличне значення $G_{\text{табл}} = 0.0562$, тобто $G < G_{\text{табл}}$, то розглянута гіпотеза допускається як правдоподібна. У результаті середня дисперсія [105] проведених імітаційних експериментів для моделі (5.10), наприклад, має вигляд:

$$G_9^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n G_n^2 = 0.2049, \quad (5.14)$$

Це дозволяє для розрахунку помилок коефіцієнтів регресії використовувати наступні вирази [106]:

$$G\{b_0\} = 0.5022 \cdot G_9 = 0.1043; \quad (5.15)$$

$$G\{b_i\} = 0.3333 \cdot G_9 = 0.0483; \quad (5.16)$$

$$G\{b_{ij}\} = 0.2887 \cdot G_9 = 0.0837; \quad (5.17)$$

$$G\{b_{ii}\} = 0.4082 \cdot G_9 = 0.0592, \quad (5.18)$$

які використовуються для обчислення відповідних критичних значень $b_{кр}$

$$b_{кр} = t \cdot G\{b\}, \quad (5.19)$$

де t береться за таблицями [105] при обраному рівні значимості α і числі ступенів свободи $f = n = 27$. На табл. 5.1 показані розраховані за (5.19) критичні значення коефіцієнтів для моделі (5.10).

При кожному рівні ризику α можна побудувати графи зв'язку між факторами. На рис. 5.1. показані такі графи при зростаючому ризику для моделі (5.10).

Таблиця 5.1

Критичні значення коефіцієнтів моделі (5.10)

α	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5
t	2,771	2,052	1,703	1,314	0,682
$b_{0кр}$	0,2891	0,2141	0,1777	0,1371	0,0711
$b_{iкр}$	0,1338	0,0991	0,0822	0,0634	0,0329
$b_{iiкр}$	0,2318	0,1717	0,1425	0,1099	0,0571
$b_{ijкр}$	0,1639	0,1214	0,1007	0,0777	0,0203

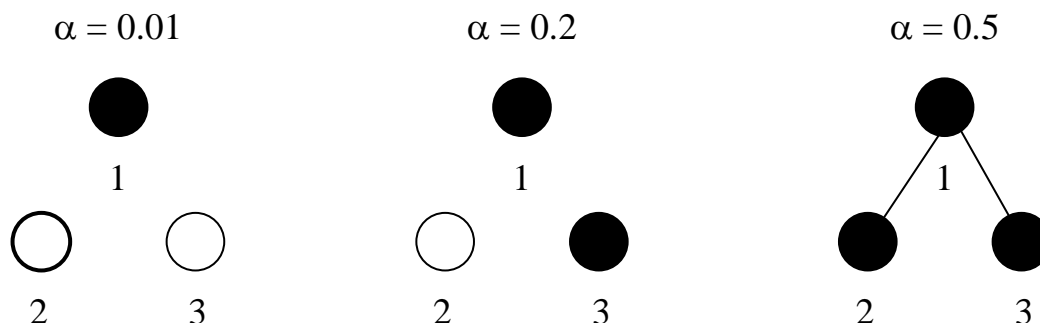


Рис. 5.1. Зміна графів зв'язку між трьома факторами x_i при різному рівні відкинути правильну гіпотезу (зачорнені значимі лінійні ефекти, петля – значимий квадратичний ефект, ребра графа - значимими є ефекти взаємодії)

Найбільш достовірним є висновок, що може бути зроблений за першим графом: - на рятування потерпілого першою ланкою ГДЗС впливає лише перший з обраних факторів x_1 , а саме підготовленість особового складу оперативно-рятувальної служби.

За другим графом він доповнюється:

- ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 впливає на рятування потерпілого першою ланкою ГДЗС лінійно.

За третім графом робиться обережний «рівноможливий» висновок, корисний на стадії початку пошукових робіт:

- можливо, що впливають всі фактори, а перший x_1 із третім x_3 фактори і перший x_1 із другим x_2 впливають взаємозалежно.

У завдання інтерпретації поліноміальної моделі входить і ранжування факторів x_i за ступенем їх впливу на вихід, що необхідно для вибору керуючих впливів. Для подальшого аналізу був прийнятий двосторонній ризик $\alpha = 0.2$ (рекомендується [105] для пошукових робіт, до яких відносяться і питання аналізу APP CM). Після видалення незначущих ефектів (відповідні оцінки можна не перераховувати, оскільки використовувався симетричний $3 \times 3 \times 3$ план проведення експерименту [106]) була отримана кінцева модель (середній граф на рис.5.1.):

$$y = 0.3460 - 0.3207x_1 - 0.1169x_3. \quad (5.20)$$

Відповідно до [105,106] ранжування проводиться за максимальним перепадом Δy в однофакторних моделях $y = f_i(x_i)$ (табл. 5.2), одержуваних при стабілізації інших x_i на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{\min} і y_{\max} , а також у центрі факторного простору.

Таблиця 5.2

Однофакторні моделі $y = f_i(x_i)$ при різних умовах стабілізації

	У зоні максимуму	У центрі факторного простору	У зоні мінімуму
x_1	$0,4629 - 0,3207 x_1$	$0,3460 - 0,3207 x_1$	$0,2291 - 0,3207 x_1$
x_2	-	-	-
x_3	$0,6667 - 0,1169 x_3$	$0,3460 - 0,1169 x_3$	$0,0253 - 0,1169 x_3$

Ранжування у всіх зонах дає ряд

$$\Delta y_1 \{x_1\} > \Delta y_1 \{x_3\}, \quad (5.21)$$

тобто найбільш відчутно з розглянутих факторів на рятування потерпілого першою ланкою ГДЗС впливає підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби, а менше – ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог. Підготовленість персоналу метрополітену взагалі не впливає на даний фактор.

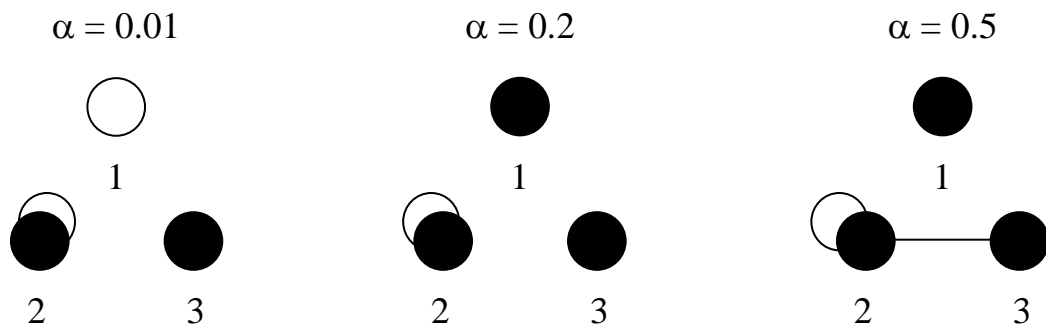
Аналіз моделі (5.11), що характеризує тривалість гасіння пожежі на початковому етапі, виконувався аналогічним чином. Так само, як і для моделі (5.10), за (5.13-5.19) були отримані критичні значення коефіцієнтів моделі (5.11), які наведені в табл. 5.3.

Критичні значення коефіцієнтів моделі (5.11)

α	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5
t	2,7710	2,0520	1,7030	1,3140	0,6820
$b_{0кр}$	0,1008	0,0747	0,0620	0,0478	0,0248
$b_{iкр}$	0,0467	0,0346	0,0287	0,0221	0,0115
$b_{iiкр}$	0,0809	0,0599	0,0497	0,0383	0,0199
$b_{ijкр}$	0,0572	0,0423	0,0351	0,0271	0,0141

На рис. 5.2. показані графи зв'язку між факторами при зростаючому ризику. З першого графа треба найбільш достовірний висновок:

- на час успішного гасіння пожежі на початковому етапі пожежно-рятувальних робіт впливають підготовленість персоналу метрополітену x_2 і ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 , причому підготовленість персоналу метрополітену x_2 впливає нелінійно.

Рис. 5.2. Зміна графів зв'язку між трьома факторами x_i моделі (5.11)

З першого графа слідує найбільш достовірний висновок:

- на час успішного гасіння пожежі на початковому етапі пожежно-рятувальних робіт впливають підготовленість персоналу метрополітену x_2 і ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 , причому підготовленість персоналу метрополітену x_2 впливає нелінійно.

Другий граф доповнює його:

- всі фактори впливають на час успішного гасіння пожежі на початковому етапі пожежно-рятувальних робіт;
 - підготовленість персоналу метрополітену x_2 впливає нелінійно.

Третій граф дозволяє припустити, що другий і третій фактори впливають взаємозалежно.

Як це було при аналізі моделі (5.10), приймаємо для подальшого аналізу двосторонній ризик $\alpha = 0.2$. Тоді кінцева модель (середній граф на рис. 5.2) має вигляд:

$$y_2 = 0.6275 - 0.0361x_1 - 0.3855x_2 - 0.1075x_2^2 - 0.1161x_3 \quad (5.22)$$

Однофакторні моделі $y_2 = f_i(x_i)$, одержувані при стабілізації інших x_j на відповідних рівнях, наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Однофакторні моделі $y_2 = f_i(x_i)$ при різних умовах стабілізації

	У зоні максимуму	У центрі факторного простору	У зоні мінімуму
x_1	$1,0216 - 0,0361 x_1$	$0,6275 - 0,0361 x_1$	$0,0184 - 0,0361 x_1$
x_2	$0,7797 - 0,3855 x_2 - 0,1075x_2^2$	$0,6275 - 0,3855 x_2 - 0,1075x_2^2$	$0,4753 - 0,3855 x_2 - 0,1075x_2^2$
x_3	$0,9416 - 0,1161 x_3$	$0,6275 - 0,1161 x_3$	$0,0898 - 0,1161 x_3$

Ранжування $\Delta y_2 \{x_i\}$ у всіх зонах дає ряд:

$$\Delta y_2 \{x_2\} > \Delta y_2 \{x_3\} > \Delta y_2 \{x_1\}, \quad (5.23)$$

тобто найбільш істотно впливає x_2 – підготовленість персоналу метрополітену, а менш - ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 . Підготовленість особового складу оперативно-рятувальної служби буде впливати в тому випадку, коли персонал метрополітену не зміг відразу загасити вогонь і пожежа набула затяжного характеру.

Для моделі (5.12), що характеризує тривалість попереднього оперативного розгортання сил і засобів оперативно-рятувальної служби, критичні значення коефіцієнтів наведені в табл. 5.5

Таблиця 5.5

Критичні значення коефіцієнтів моделі (5.12)

α	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5
t	2,7710	2,0520	1,7030	1,3140	0,6820
$b_{0кр}$	0,0520	0,0385	0,0320	0,0247	0,0128
$b_{iкр}$	0,0241	0,0178	0,0148	0,0114	0,0059
$b_{iiкр}$	0,0417	0,0309	0,0256	0,0198	0,0103
$b_{ijкр}$	0,0295	0,0218	0,0181	0,0140	0,0073

На рис. 5.3. показані графи зв'язку між факторами при зростаючому ризику.

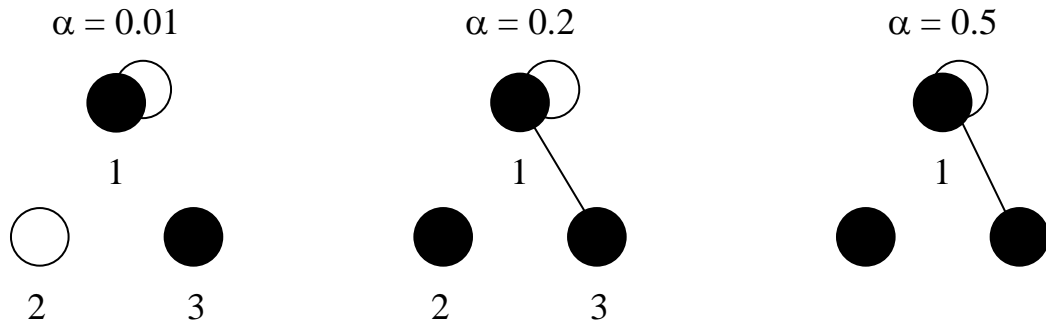


Рис. 5.3. Зміна графів зв'язку між трьома факторами x_i моделі (5.12)

З першого графа робимо найбільш достовірний висновок:

- на час оперативного розгортання сил і засобів пожежно-рятувальної служби впливають підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби x_1 і ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 , причому підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби x_1 впливає нелінійно.

Другий граф доповнює його:

- всі фактори впливають на час оперативного розгортання сил і засобів пожежно-рятувальної служби;

- перший x_1 і третій x_3 фактори впливають взаємозалежно.

Як це було при аналізі моделі (4.10), приймаємо для подальшого аналізу двосторонній ризик $\alpha = 0.2$. У цьому випадку кінцева модель (середній граф на рис. 4.3) має вигляд:

$$y_3 = 0.6687 - 0.4127x_1 - 0.1634x_1^2 - 0.0161x_1x_3 - 0.013x_2 - 0.0984x_3. (5.24)$$

Однофакторні моделі $y_3 = f_i(x_i)$, одержані при стабілізації інших x_j на відповідних рівнях, наведені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Однофакторні моделі $y_3 = f_i(x_i)$ при різних умовах стабілізації

	У зоні максимуму	У центрі факторного простору	У зоні мінімуму
x_1	$0,7801 - 0,3966 x_1 - 0,1634x_1^2$	$0,6687 - 0,4127 x_1 - 0,1634x_1^2$	$0,5573 - 0,4257 x_1 - 0,1634x_1^2$
x_2	$1,0003 - 0,013 x_2$	$0,6687 - 0,013 x_2$	$0,1415 - 0,013 x_2$
x_3	$0,931 - 0,1145 x_3$	$0,6687 - 0,0984 x_3$	$0,2269 - 0,0823 x_3$

Ранжування $\Delta y_3 \{x_i\}$ у всіх зонах дає ряд:

$$\Delta y_3 \{x_1\} > \Delta y_3 \{x_3\} > \Delta y_3 \{x_2\}, \quad (5.25)$$

тобто найбільш істотно впливає x_1 – підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби, менше – ступінь реалізації існуючих нормативно-технічних вимог x_3 , і менше за інші фактори впливає підготовленість персоналу метрополітену x_2 .

Таким чином, показана можливість кількісної нелінійної оцінки як ваг окремих факторів, що впливають на ефективність АРР СМ, так і ваг їх взаємного впливу.

5.2. Імітаційна оцінка ефективності практичних рекомендацій

5.2.1. Характеристика рекомендацій, відібраних для оцінки їх ефективності

Аналіз запропонованих у ході виконання роботи і проведення ТСН на станціях метрополітену рекомендацій дозволив виділити [24] операції, виконання яких буде сприяти скороченню часу функціонування СРЕСМ. Так, реалізація рекомендації про необхідність узгодження дій різноманітних служб на початковому етапі рятувальних робіт (їх регламентація в документах чергового по станції) дозволить зменшити час виконання наступних операцій:

- зняття напруги з контактної рейки (у моделі – t_{13});
- виклик диспетчером пожежно-рятувальної служби (у моделі – t_{14});
- включення аварійного режиму вентиляції (у моделі – t_{37});
- оповіщення диспетчером керівного складу станції (у моделі – t_{15});
- видача співробітниками станції допуску на вхід оперативно-рятувальних підрозділів (у моделі – t_{17}).

Дозвіл роботи ескалаторів у тому випадку, коли має місце надзвичайна ситуація (у тому числі пожежа) на рухомому складі, призведе до скорочення часу руху потерпілих до виходу (у моделі – t_{32}). При цьому спочатку всі ескалатори повинні бути включені на підйом (у моделі – t_{28}). По прибуттю особового складу оперативно-рятувальних підрозділів (у моделі – t_{16}) (а на той час основна частка пасажирів, що може пересуватися самостійно, покине станцію) один ескалатор доцільно перемкнути на спуск для швидкого руху рятувальників до постраждалого (у моделі – t_{19}), а всі інші залишити працюючими на підйом.

Навчання постового на посту безпеки спрощеним розрахункам часу роботи в ізолюючих апаратах і тренування газодимозахисників правильному (глибокому і рівному) диханню, удосконалювання в них окремих якостей (у першу чергу витривалості, а також здатності орієнтуватися в просторі) дозволить швидше підготувати ланки до роботи (у моделі – t_{18}) і провести включення в ізолюючі апарати (у моделі – t_{18}), приєднати рукава до головки сухотруба (у моделі – t_{20}), швидше провести пошук потерпілих у вестибюлі

станції і на ескалаторі (у моделі – t_{20}), а також збільшити швидкість руху рятувальників (у моделі – t_{19}).

Консультації з експертами після аналізу відібраних рекомендацій дозволили припустити можливість певного зниження часу виконання деяких операцій. Відповідні експертні оцінки наведені в Додатку Н.

5.2.2. Оцінка ефективності

Результати імітаційного моделювання APP CM із відкоректованими відповідно до відібраних для оцінки ефективності вихідними даними дозволили одержати, використовуючи підхід, наведений у 5.1, нові поліноміальні моделі. Розглядаючи обрані раніше події, нові багатофакторні моделі, що відповідають (5.10), (5.11), (5.12), для оцінки часу їх настання в кодованих змінних мають вигляд:

$$y'_1 = 0.2755 - 0.3403x_1 + 0.1230x_1^2 + 0.0125x_1x_2 + 0.0722x_1x_3 - \\ - 0.0576x_2 - 0.0018x_2^2 + 0.0065x_2x_3 - ; \quad (5.26) \\ - 0.0984x_3 - 0.0178x_3^2$$

$$y'_2 = 0.3426 - 0.0137x_1 - 0.0012x_1^2 + 0.0024x_1x_2 + 0.0016x_1x_3 - \\ - 0.0922x_2 - 0.0171x_2^2 + 0.0401x_2x_3 - ; \quad (5.27) \\ - 0.4079x_3 - 0.1307x_3^2$$

$$y'_3 = 0.5127 - 0.3620x_1 + 0.0061x_1^2 - 0.0122x_1x_2 - 0.0013x_1x_3 - \\ - 0.0124x_2 - 0.0049x_2^2 - 0.0031x_2x_3 - , \quad (5.28) \\ - 0.0203x_3 - 0.0027x_3^2$$

які у разі вибору двостороннього ризику $\alpha = 0.2$ після виконання розрахунків, аналогічних до тих, які наведені в 5.1.3, можна розглядати як

$$y'_1 = 0.2755 - 0.3403x_1 - 0.0984x_3; \quad (5.29)$$

$$y'_2 = 0.3426 - 0.0922x_2 - 0.4079x_3 - 0.1307x_3^2; \quad (5.30)$$

$$y'_3 = 0.5127 - 0.3620x_1. \quad (5.31)$$

Аналіз отриманих поліноміальних моделей (5.26) - (5.31), зроблений аналогічно до проведеного в 5.1.3, показав, що якщо для моделей (5.26), (5.29) і (5.10), (5.20) трактування результатів принципово не відрізняється, то для часу гасіння пожежі на початковому етапі (дивися відповідні моделі (5.27), (5.30) і (5.11), (5.22)) ситуація трохи змінюється – найбільш вагомим

стає фактор x_3 , що характеризує рівень реалізації на станції існуючих нормативно-технічних вимог, тобто істотно підвищуються вимоги до якості пожежно-профілактичної роботи.

У той же час, на тривалість попереднього оперативного розгортання сил і засобів оперативно-рятувальної служби (моделі (5.28), (5.31) і (5.12), (5.22)) фактично перестають впливати коливання ступеня реалізації нормативно-технічних пожежно-профілактичних вимог на станції і рівень підготовки персоналу метрополітену.

Таким чином реалізація відібраних у 5.2.1 рекомендацій дозволить акцентувати роботу особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, персоналу станції і пожежно-профілактичної групи безпосередньо на виконанні своїх функціональних обов'язків.

Для оцінки того, наскільки скоротиться час настання розглянутих подій, отримані поліноміальні моделі були розглянуті при їхньому описі з використанням натуральних змінних. Розрахунок коефіцієнтів відповідних моделей проводився аналогічно до розрахунку коефіцієнтів для моделей у кодованих змінних (див. 5.1.2).

Так, багатфакторні моделі часу рятування потерпілого першою ланкою газодимозахисної служби (ГДЗС) у натуральних змінних до та після реалізації відібраних рекомендацій мають такий вигляд

$$Y_1 = 1047,95 - 157,21x_1 - 7,05x_3, \quad (5.32)$$

$$Y'_1 = 793,52 - 123,61x_1 - 10,03x_3. \quad (5.33)$$

На рис.5.4 наведені графічні відображення залежностей (5.32) і (5.33). Їхній аналіз дозволяє говорити про те, що тривалість рятування потерпілого першою ланкою ГДЗС може скоротитися в середньому на 15-20%. При цьому навіть у разі досягнення найкращих значень обраних факторів у першому випадку, час рятування потерпілого при мінімальних рівнях цих факторів після реалізації пропозицій буде меншим.

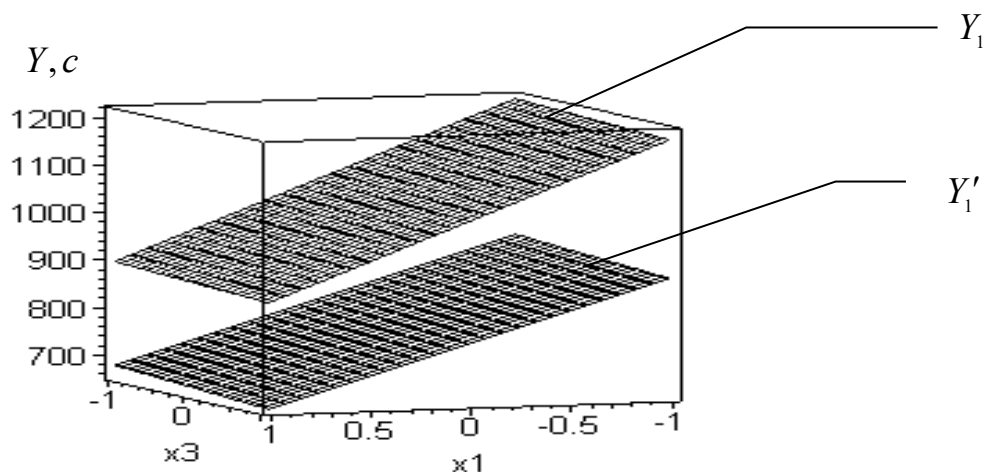


Рис. 5.4. Залежність часу рятування постраждалого першою ланкою газодимозахисної служби до та після реалізації рекомендацій в натуральних змінних

Аналогічно можна проаналізувати і час успішного гасіння пожежі на початковому етапі ліквідації надзвичайної ситуації. Відповідні багатофакторні моделі, графічне відображення яких наведено на рис. 5.5, до (5.34) і після (5.35) реалізації запропонованих рекомендацій мають вигляд:

$$Y_2 = 1772,45 - 43,02x_1 - 459,12x_2 - 128,01x_2^2 - 138,25x_3, \quad (5.34)$$

$$Y'_2 = 1242,91 - 93,65x_2 - 134,29x_3 + 132,81x_3^2. \quad (5.35)$$

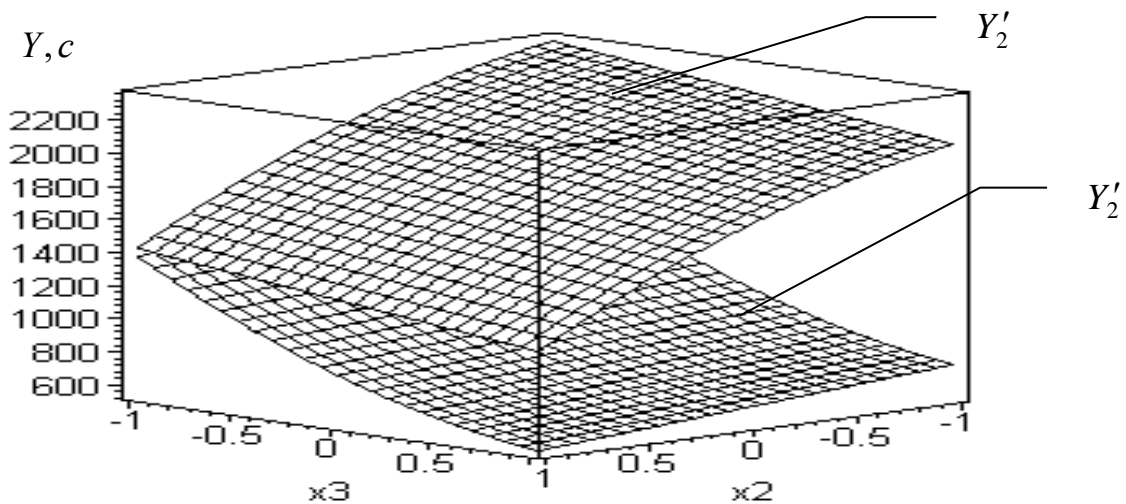


Рис. 5.5. Залежність часу гасіння пожежі на початковому етапі ліквідації надзвичайної ситуації від рівня підготовки персоналу та ступеня реалізації пожежно-профілактичних заходів до та після реалізації запропонованих рекомендацій

Видно, що можна чекати скорочення тривалості гасіння пожежі на початковому етапі пожежно-оперативного обслуговування в середньому на 20-30%. При цьому, якщо у випадку досить повної реалізації нормативно-технічних вимог і слабкому рівні підготовленості персоналу станції час гасіння скоротився більш ніж у два рази, то у випадку поліпшення тільки підготовленості співробітників метрополітену ефекту від запропонованих заходів практично не буде.

Багатофакторні моделі часу попереднього оперативного розгортання сил і засобів пожежно-рятувальної служби (графічно подання відповідних залежностей наведено на рис.5.6) до (5.36) і після (5.37), реалізації пропозицій зображено таким способом:

$$Y_3 = 1552,09 - 225,97x_1 - 89,38x_1^2 - 8,79x_1x_3 - 7,09x_2 - 53,85x_3, \quad (5.36)$$

$$Y'_3 = 1287,81 - 203,29x_1. \quad (5.37)$$

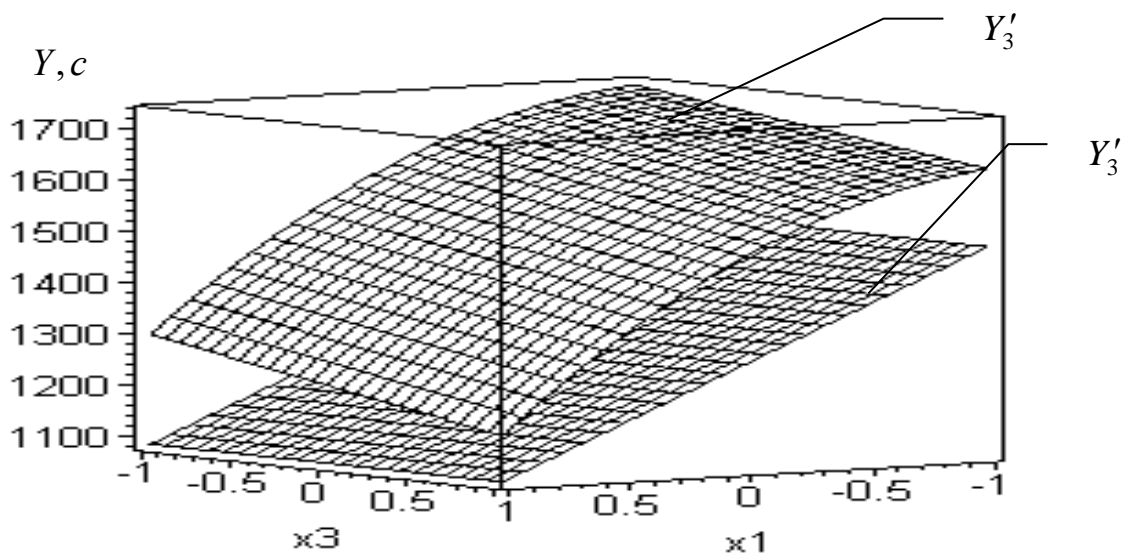


Рис. 5.6. Залежність часу попереднього оперативного розгортання сил та засобів оперативно-рятувальної служби від ступеня реалізації рекомендацій

Порівнюючи залежності (5.36) і (5.37), можна стверджувати про істотне зниження часу попереднього оперативного розгортання (від 5% - у разі найкращої підготовленості особового складу пожежно-рятувальної служби та повної реалізації нормативно-технічних вимог до 17%, коли ці фактори визначаються відповідними найбільш імовірними оцінками).

Висновки з п'ятого розділу

1. Закономірність часу виконання окремого етапу функціонування СРЕСМ може бути формалізована у вигляді багатофакторного нелінійного полінома другого ступеня, у якому фактори, що впливають (рівень підготовленості рятувальників до використання наявних засобів захисту і забезпечення роботи, а також параметри середовища) варіюються на двох рівних рівнях.

2. Застосування імітаційного підходу дозволило отримати кількісні оцінки впливу підготовленості особового складу пожежно-рятувальної служби і ступеня відповідності станції нормативним вимогам на час рятування потерпілого першою ланкою газодимозахисної служби, а також підготовленості рятувальників і стану станції на час попереднього оперативного розгортання сил і засобів.

3. Отримані кількісні оцінки, у тому числі нелінійні, як ваг окремих факторів, що впливають на ефективність СРЕСМ, так і ваг їх взаємного впливу, дозволяють обґрунтовано вибирати пріоритети при розробці практичних рекомендацій, пов'язаних як з підготовкою рятувальників, так і з реалізацією профілактичних заходів на станції. Зокрема, відзначено, що

найбільш відчутно на час рятування потерпілого першою ланкою впливає підготовленість особового складу оперативно-рятувальної служби, на час успішного гасіння пожежі на початковому етапі пожежно-рятувальних робіт – підготовленість персоналу метрополітену, а на час оперативного розгортання сил і засобів – підготовленість особового складу оперативно-рятувальної служби. Існуючий рівень нормативно-технічних вимог впливає менше інших факторів на всі розглянуті процеси. Тому необхідно розвивати і удосконалювати технічні засоби, які змогли б ще до прибуття оперативно-рятувальних підрозділів забезпечити безпечну евакуацію пасажирів, а також значно полегшити діяльність рятувальників.

4. Показано можливість порівняльної кількісної оцінки впливу на час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену як окремих факторів, так і їх сукупності. Так, реалізація запропонованих у роботі рекомендацій дозволяє очікувати скорочення часу настання основних подій у середньому на 10-15 %.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз науково-технічної літератури показав, що діяльність рятувальників у процесі проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену повинна розглядатися в умовах комплексного впливу небезпечних факторів можливої надзвичайної ситуації, які збільшуються складністю конструктивно-планувальних рішень розташованого під землею комплексу споруд і пристроїв. У той же час, більшість досліджень, що проводилися раніше, пов'язаних з ліквідацією НС у метрополітені, вивчали, як правило, одну зі сторін цього процесу, пов'язану з високою температурою, задимленістю та ін. (при цьому не розглядалися індивідуальні особливості, характерні роботі рятувальників в ізолюючих апаратах), або, у разі комплексного опису пожежно-оперативного обслуговування (зокрема, гасіння пожежі на електропідстанції метрополітену), не враховували імовірнісний характер більшості аварійних і надзвичайних ситуацій і не дозволяли оцінити вплив на час конкретного етапу аварійно-рятувальних робіт реалізацію тих або інших рекомендацій. Вищесказане дозволило зробити висновок про те, що закономірності діяльності рятувальників у системі «людина - екстремальне середовище» на станціях метрополітену можуть розглядатися як новий предмет дослідження, а їх розкриття є невирішеним завданням ергономіки, розв'язання якого дозволить визначити науково-обґрунтовані правила організації розглянутої системи.

2. Показано, що наукове завдання розкриття закономірностей діяльності рятувальників в системі «людина - екстремальне середовище» на станціях метрополітену вирішують наступні наукові результати:

- *теоретико-методологічні:*

- метод імітаційного моделювання СРЕСМ, що опирається на апарат Е-мереж. Його реалізація вперше дозволила відобразити закономірності організації і проведення, пов'язані з різними типами переходів, тупиками, замкнутими циклами та імовірнісним характером розвитку ситуації, повного комплексу аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену, що забезпечує функціонування системи «рятувальник - засоби порятунку і захисту - екстремальне середовище»;

- формалізація подання закономірностей часу виконання окремих етапів функціонування СРЕСМ у вигляді багатофакторного нелінійного полінома другого ступеня, у якому фактори, що впливають (параметри середовища і якості рятувальників), варіюються на двох рівних рівнях. Застосування розробленого підходу дозволило вперше одержати кількісні оцінки впливу підготовленості особового складу пожежно-рятувальної служби, що використовує наявні на озброєнні засоби порятунку та захисту, і ступеня відповідності станції нормативним вимогам на час рятування постраждалого тією ланкою ГДЗС, що першою приступає до проведення рятувальних робіт, а також підготовленості рятувальників і стани станції на час попереднього оперативного розгортання сил і засобів;

- *експериментальні:*

- закономірності виконання типових операцій особовим складом оперативно-рятувальних підрозділів. Статистична оцінка експериментальних даних дозволяє з 10%-им рівнем значимості стверджувати те, що для опису розподілу часу на їх виконання можна використовувати β -розподіл, що має параметри $\alpha=2,111$ і $\beta=2,995$, а для опису швидкості їх виконання – β -розподіл, що має параметри $\alpha=2,895$ і $\beta=2,005$;

- закономірності роботи рятувальників у засобах індивідуального захисту органів дихання при проведенні АРР СМ, у яких вперше відзначено, що в ході виконання розглянутого процесу розподіл швидкості витрати повітря при роботі в АСП є скошеним, а розподіл подачі кисню в РДА – нормальним. Виконання в АСП робіт з великим ступенем важкості характеризується великою негативною скошеністю і більшим значенням швидкості витрати повітря.

ЛІТЕРАТУРА

1. Метрополітени: ДБН В.2.3-7-2003. – [Чинний від 01.07.2003]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 297 с.
2. Закон України «Про правові засади цивільного захисту» № 1859-IV від 24 червня 2004 року / МНС України. – К.: Вид. дім «Ін Юре», 2004. – 59 с. – (Закони України)
3. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика: Учеб. Для пожарно-техн. училищ. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 276 – 279.
4. „Тимчасовий статут дій у надзвичайних ситуаціях” ч.2. Наказ МНС № 96 від 07 лютого 2008 року.
5. Инструкция о порядке взаимодействия Государственной пожарной охраны и ведомственной военизированной охраны на железнодорожном транспорте по организации пожарного надзора, тушения пожара и ликвидации последствий аварий на объектах метрополитенов. – НАПБ Б. 05.014-96.- – К.: Мзд-во стандартов, 1996. – 4 с.
6. Ильин В.В. Особенности и результаты физического моделирования температурного режима в тоннеле метрополитена при пожаре подвижного состава // Пожарная опасность подвижного состава метрополитена и железных дорог: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. – С. 19-25.
7. Махин В.С., Иличкин В.С., Эверестов П.А. Формирование опасных факторов пожара при горении подвижного состава в тоннеле метрополитена // Пожарная опасность подвижного состава метрополитена и железных дорог: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. – С. 8-15.
8. Дж. Б. Моран, Р.М. Ронк. Индивидуальные средства защиты // Человеческий фактор, т. 2. – М., Наука, 1992. – С. 416-454.
9. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. – М.: Недра, 1984. – 296 с.
10. Перепечаев В.Д., Береза В.Ю. Газодымозащитная служба пожарной охраны // Учебник. – Чернигов, РИК «Деснянська правда», 2000. – 468 с. с ил.
11. Ковалева П.А. Обоснование способов совершенствования деятельности газодымозащитников: Дис. канд. техн. наук: 21.06.02; / Ковальов Павло Анатолійович. – Х., 1997. -153 с.
12. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування: ДСТУ EN 137-2002. – [Чинний від 10.05.1993]. – К.: Изд Держспоживстандарт України, 2003. – 55 с.
13. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні регенерувальні дихальні апарати зі стисненим киснем або зі стисненим киснем і азотом. Вимоги, випробування, маркування: ДСТУ EN 145: 2003. – [Чинний від 15.09.1997]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 75 с.
14. Техника пожарная. Дыхательные аппараты со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 165-

- 97.– [Чинний від 10.05.1993]. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 95 с.
15. NFPA 1981: Standard on Open-Circuit Self-Contained Breathing Apparatus (SCBA) for Emergency Services. Current Edition: 2007 Next Revision Cycle: Fall 2011, 2007. – 117 p.
16. BS EN 137:2006 Respiratory protective devices. Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask. Requirements, testing, marking. – 12.07.2006. – 123 p.
17. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання // Навч. посіб. – Х., АПБУ, 2001. – 117 с.
18. Беляцкий В.П., Павлов Г.П. Методическое пособие по организации и тактике тушения пожаров на объектах метрополитена. – М., 1986. – 156 с.
19. ДСТУ 2272-93 Пожарная безопасность. Термины и определения.- Введ. 01.01.1993. – К.: Изд-во стандартов, 2003. – 25 с.
20. Чучковский В.Н., Стрелец В.М. Выбор способа эргономической оценки деятельности боевых расчетов пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Юб. вып. - Харьков: ХИПБ, 1998. – с.51-65.
21. Прохач Э.Е., Стрелец В.М. Пожарная охрана как большая система “пожарный-пожар-средства защиты и пожаротушения” // Методы и средства обеспечения пожарной безопасности/ Под ред. Ю.А.Абрамова: Сб. науч. тр. – Харьков, ХВУ, 1995. – С.16-22.
22. Стрелец В.М. Особенности выбора научно-методического аппарата оценки функционирования СЧМ в экстремальных условиях // Эргономика на автомобильном транспорте: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГАДТУ, 1997. – С.95-100.
23. Абрамов Ю.А., Чучковский В.Н., Стрелец В.М. Имитационная оценка деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей // Эргономика на автомобильном транспорте: Сб. науч. тр. – Харьков, ХГАДТУ, 1997. – С. 92-95.
24. Бондарев В.Ф., Семенов В.В. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 44-59.
25. Стрелец В.М., Чубарь С.С., Елизаров В.В. Особенности выбора исходных данных для имитационного моделирования процесса тушения пожаров в подвальных помещениях // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. Тр. АПБ Украины. Вып.12. – Харьков: Фолио, 2002. – с.162-169.
26. Андреев С.М. Оценка уровня профессиональной подготовки летного состава при первоначальном обучении: дисс. канд. техн. наук: 05.01.04 / Андреев С.М. – Х., 1999. – 131 с.
27. Грачев В.А. Управление профессиональной подготовкой пожарных на основе исследования закономерностей их физической работоспособности: дисс. канд. техн. наук: 05.01.04 / Грачев В.А. – Москва, 2001. – 145 с.
28. Терещенко В.В., Грачев В.А. Понятие оптимальной боевой готовности пожарных к выполнению боевых задач // Материалы научно-практической

конференции «Проблемы подготовки кадров для пожарной охраны». - М.: МИПБ МВД России, 1998. – С. 14-16.

29. Указ президента Украины від 19 грудня 2003 року № 1467/2003 „Про Державну програму перетворення військ Цивільної оборони України, органів і підрозділів державної пожежної охорони в Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту на період до 2005 року” – К.: Вид. дім «Ін Юре», 2005. – 59 с.

30. Разработка предложений по повышению эффективности боевой деятельности личного состава пожарной охраны: Отчет о НИР / АПБУ. – № госрегистрации 0100U002054 . – Харьков, 2001. – 31 с

31. Разработка предложений по повышению эффективности служебной деятельности личного состава пожарной охраны: Отчет о НИР / АПБУ. – № госрегистрации 0102U000844. – Харьков, 2002. – 35 с

32. Беляцкий В.П. Пожары в метрополитенах (По зарубежным материалам)// Пожарное дело. – 1982. - №7. – С.27.

33. Воробьев Ю.Л. Учебник спасателя. – Режим доступа: www.tcmp.nm.ru

34. Метрополитен Москвы / Гридчин Ю. - Режим доступа: www.metropolitan.newmail.ru

35. Форум: Безопасность метрополитена. – 2003. – Режим доступа: www.d-project.ru

36. Форум: Пожар в метрополитене. – 2001. - Режим доступа: www.emercomrb.bashnet.ru

37. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. – Москва, Стройиздат, 1984. – С. 484 – 499.

38. Беляцкий В.П. Пожарная опасность метрополитенов. – М.: Транспорт, 1994. – 102 с.

39. Бондарев В.Ф., Смирнов К.П. Классификация подземных сооружений метрополитена по степени пожарной опасности // Противопожарная защита подземных сооружений метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1984. – С.33-40.

40. Петренко В.Н., Голиков А.Д., Чучин Н.Н., Махин В.С. Развитие пожара в эскалаторном тоннеле // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РЮ, 1992.- С.81-85

41. Петренко В.Н., Бакинов И.Г. Пожарная опасность эскалаторных комплексов метрополитенов // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990.С. 14-17.

42. Пожарная нагрузка и температурный режим пожара кабельных сооружений электроподстанций метрополитенов // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990.С. 39-43.

43. Ефимов С.Г., Беляцкий В.П. Тепловая депрессия в подземных сооружениях метрополитенов глубокого заложения // Вентиляция шахт и рудников. Комфортность и безопасность атмосферы: Межвуз. сб. науч. тр.- Л.: ЛГИ, 1988. – С.130-132.

44. Косарев Б.В. Пожарная нагрузка и температурный режим пожара кабельных сооружений электроподстанций метрополитенов // Пожарная

- безопасность метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989.С. 39-43.
45. Ильин В.В., Ефимов С.Г., Чучин Н.Н., Павлов Г.П. Организация дымоудаления при тушении пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989.С. 59-66.
46. Беляцкий В.П. Пожарная опасность электроподвижного состава метрополитенов // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорого: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 4 –8.
47. Бондарев В.Ф., Лесков А.А. Определение интенсивности тепловыделения при пожаре подвижного состава метрополитена в тоннеле // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РЮ, 1992. - С.62-70
48. Беляцкий В.П. Основные направления повышения пожарной безопасности сооружений и подвижного состава метрополитенов // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. С. 4-14.
49. Виноградов Ю.И., Ефимов С.Г. Оценка эффективности применения автомобилей дымоудаления для безопасной эвакуации людей со станций метрополитена // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РЮ,1992. - С.32-40
50. Ильин В.В. Необходимое время эвакуации // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. - С.13-31.
51. Ильин С.Г. Особенности дымоудаления при тушении пожаров на эскалаторах // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 32-35.
52. Ковалев П.А. Алгоритм работы звена ГДЗС в помещениях, имеющих сложные конструктивно-планировочные решения // Проблемы совершенствования пожарной безопасности: Сб.науч.тр. Харьков: ХВУ, 1997. – С.7-10.
53. Бондарев В.Ф. Особенности развертывания в подземные сооружения метрополитена // Тушение пожаров в метрополитенах: Сб.науч.тр.- М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988. – С.12-16.
54. Беляцкий В.П., Джангирьян С.М., Гужавин Г.Г., Фусяк О.Н. Возможность увеличения дальности радиосвязи при тушении пожаров в метрополитенах // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорого: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 46 –53.
55. Бакулин А.С. Сооружения, устройства и подвижной состав метрополитена. М. – Транспорт, 1979.- 239 с.
56. Ефремов С.Г.Повышение устойчивости воздушных потоков на путях эвакуации при пожарах на станциях и в тоннелях // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. - С.42-47.
57. Правила пожарной безопасности в метрополитенах: НАПБ В.01.039-99/510.- [Чинний від 10.05.1993]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 225 с.

58. Павлов Г.П., Беяцкий В.П., Симонов К.С. Нормирование первичных средств пожаротушения // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорог: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 46 –53.
59. Настанова по ГДЗС ПО МВС України (Наказ Міністра внутрішніх справ №657–94 р.). - Київ, 1994. - 64 с.
60. Ковальов П.А., Срілець В.М., Єлізаров О.В., Безуглов О.Є. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі. – Харків, 2005. – 359 с.
61. Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе "человек-машина" - М.: Мир, 1976. - 356 с.
62. Стрелец В.М. Анализ научно-методического аппарата эргономической оценки деятельности личного состава пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып.4- Харьков: ХИПБ, 1998. – с.187-190.
63. Негодаев Г.Д. Формирование опасных факторов пожара в пассажирском вагоне // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорог: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 61 –68.
64. Ильин В.В., Федоров А.И., Григорьева И.Н. Пожарная нагрузка и интенсивность тепловыделения сооружений метрополитенов // Противопожарная защита подземных сооружений метрополитенов: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1984.С. 11-20.
65. Петренко В.Н., Голиков А.Д., Чучин Н.Н., Махин В.С. Развитие пожара в эскалаторном тоннеле // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РЮ, 1992. - С.81-85.
66. Потетюев С.Ю. Повышение эффективности системы дымоудаления при горении подвижного состава в тоннеле метрополитена: дисс. канд. тех. наук: 21.06.02 / Потетюев С.Ю. – Харьков, 2001. – 189 с.
67. Бондарев В.Ф., Смоляков В.Г. Оценка обстановки при пожаре в эскалаторном тоннеле методом математического моделирования // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 22-32.
68. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. Учебник. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255с.
69. Ковалев П.А., Чучковский В.Н. Моделирование деятельности личного состава газодымозащитной службы при работе со специальной техникой // Актуальные проблемы философии, науки и современных технологий X, XI Вестник ХДУ N 388 - X, ХДУ - ХИПБ, 1997 С. 268-272
70. Даниленко А.С. Модель боевых действий пожарных подразделений // Пожарная опасность подвижного состава метрополитенов и железных дорог: Сб.науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 46 –53.
71. Чучковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дисс. канд. техн. наук: 21.06.02 / Чучковский В.Н. – Харьков, 1998.– 155 с.

72. Стрелец В.М., Грицай В.Б. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения // Право і безпека: Науковий журнал – 2002. – Вип.1. – С.165-171.
73. Стрелец В.М., Ковалев П.А. Особенности представления исходных данных при имитационном моделировании деятельности личного состава пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИПБ, 1997.- с.50-53.
74. Стрелец В.М., Данильченко В.А., Аветисян В.Г., Ковалев П.А. Особенности подготовки газодымозащитников для эвакуации людей при пожаре с этажей здания // Пожарная безопасность – 95: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции. - М.: ВНИИПО МВД России, 1995. – с.84-86
75. Стрелец В.М., Аветисян В.Г. Имитационное моделирование аварийно-спасательных работ, проводимых в процессе извлечения пострадавшего из-под завала // Системи обробки інформації: Зб. Наук. праць. Вип. 2(6). – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1999. – С.78-82
76. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984.- 171 с.
77. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 162 с.
78. Костин А.Е. Принципы моделирования сложных дискретных систем. – М.: Изд. МИЭТа, 1983. – 107с
79. Костин А.Е. Структурное описание Е-сетей как средства формального представления сложных дискретных систем // Алгоритмическое обеспечение и проектирование микропроцессорных вычислительных систем: Сб. науч. тр. – М., 1981. – С.11-19.
80. Костин А.Е., Савченко Л.В. Модифицированные Е-сети для исследования систем распределенной обработки информации // Автоматика и вычислительная техника: Сб. науч. тр. – 1988, №6. – С.27-38.
81. Пранявичус Г., Дземидене Д. Применение Е-сетей для формализованного описания и моделирования вычислительных систем // Статистические проблемы управления: Сб. науч. тр. Вып.48. Вильнюс, 1980. – С.65-85.
82. Стрелец В.М. Применение экспертного метода для непосредственной оценки результатов деятельности // Информационные системы: Сб. науч. тр. Вып.2(10). – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1988. – С.165-168
83. Стрелец В.М. Экспертная оценка операций боевого развертывания пожарного автомобиля // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Юб. вып. - Харьков: ХИПБ, 1998. – С.40-43.
84. Стрелец В.М. Применение экспертного метода для непосредственной оценки результатов деятельности // Информационные системы: Сб. науч. тр. Вып.2(10). – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1988. – С.165-168.
85. Стрелец В.М., Каскевич Д.Ю. Экспертные оценки профессионально важных качеств пожарных // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып.5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.183-185.

86. Зубарев В.В. Исследование процесса тушения высокократной пеной вагона метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. С. 71-75.
87. Зубарев В.В., Танклевский Л.Т., Чирков А.Е. Огневые испытания спринклерной установки пожаротушения в отстойном корпусе электродепо // Борьба с пожарами в метрополитенах: Сб. науч.тр. – М.: ВНИИПО МВД РЮ,1992. - С.57-61.
88. Чучковский В.Н., Стрелец В.М., Ковалев П.А. Имитационная оценка численности боевого расчета автомобиля газодымозащитной службы // Проблемы пожарной безопасности: Сб.науч.тр. Вып.3. –Харьков: ХИПБ, 1998 г. – С. 163-170.
89. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. науч. тр. // АН СССР, Ин-т проблем передачи информации: Отв. ред. Д.А. Пospelов. -М.: Наука, 1989.- 152 с.
90. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: Звіт про НДР / НУЦЗУ. – № держреєстрації 0110U003256. – Харків, 2010. – 185 с.
91. Анализ и обработка экспертных оценок / Смирнов К. Ю. - Режим доступа: [www. Jesmas.com](http://www.Jesmas.com).
92. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Наука,1948.– 566с.
93. Фигурнов С.Н. Microsoft Excel – инструкция пользователю.- Москва, 2003. – 347 с.
94. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука", 1971. – 576с.
95. Стрелец В.М., Мамон В.П., Ермаков Н.В., Дьяченко С.Д. Эргономический анализ групповой деятельности звена ГДЗС // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып. 7. - Харьков: ХИПБ, 1997. – С.190 –194.
96. Стрелец В.М. Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Спец. вып. - Харьков: ХИПБ, 1999. – С.60 –80.
97. Пакет прикладных программ «Microsoft Excel». Инструкция пользователю. – 2003. – 353 с.
98. Подгорный К.В., Рябченко Е.Л. Расчет параметров сетевых моделей. Методическое пособие. – Харьков, 1980 . – С.58
99. Бабич П.Н., Чубенко А.В., Лапач С.Н. Оценка согласованности мнений экспертов с применением коэффициента конкордации. www.biostat.ru.
100. Бешелов С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок – М.: Статистика, 1974. – 264 с.
101. Ранговый дисперсионный анализ Фридмана и конкордация / Гаринин Ю. В. - Режим доступа: [www. statsoft.ru](http://www.statsoft.ru).
102. Кендалл М.Дж. Ранговые корреляции. Пер. с англ. – М.: Статистика, 1975. – 214 с.

103. Пакет прикладных программ «Turbo Pascal 7.0». Инструкция пользователю. – 2003. – 347 с.
104. Беляцкий В.П., Бондарев В.Ф. Противопожарная защита и тушение пожаров подземных сооружений: Обзорная информация. – М.:ВНИИПО МВД СССР, 1982. – 32 с.
105. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.:Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
106. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М., Наука, 1976. – 279 с.
107. Чуковський В.Н., Абрамов Ю.О., Стрілець В.М., Ковальов П.А. Методика імітаційної оцінки штатної чисельності бойових розрахунків на пожежну техніку. Затверджена Начальником ГУДПО МВС України від 22.10.1998. – Харків, ХІПБ, 1988. – 22 с.
108. Рабидо Д.Ф., Мейстер Д. Инженерно-психологическая оценка при разработке систем управления. - М.: Советское радио, 1970. – 343 с.
109. Эргономика: Учебник / Под ред. Крылова А.А., Суходольского Г.В. – Л.: Из-во Ленингр. ун-та, 1988. – 184 с.
110. Ашероv А.Т., Сажко Г.И. Научные и методические основы эргономической подготовки инженеров-педагогов в компьютерной отрасли: Монография. – Горловка: ЧП «Видавництво Ліхтар», 2008. – 170 с.
111. Зинченко В.П. Введение в эргономику. – М., «Советское радио», 1974 г., 352 с.
112. Чабаненко П.П., Халаев Ю.Н. Эргономические приемы выявления резервов эффективности судовых систем. - Севастополь: ВСНТО, Крымской обл. совет НТО, 1987. - 54 с.
113. Чабаненко П.П. Опыт проектирования АСУП с оптимизацией деятельности операторов. - К.: Знание, 1985. - 17 с.
114. Godindaraj T. An approach to modelling the human supervisor in a time-constrained environment using artificial intelligence methodologies. – In: IEEE Proceedings of Internathional conference on cybernetics and society, Siattle, Wash., Oct. 28-30, 1992. - N.Y., 1992. – P.35-43.
115. Зараковский Г.М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. - М.: Наука, 1966. - 112 с.
116. Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. - М.: Радио и связь, 1987. - 232 с.
117. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. - Л.: Судостроение, 1977. – 224 с.
118. Губинский А.И., Евграфов В.Г., Лаушкин Г.Д., Лебедев В.А. Методические рекомендации "Автоматизация проектирования эрготехнических систем". - Научн. совет по компл.проблеме "Кибернетика" АН СССР. - М.: 1981. - 43 с.
119. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности. – М.: Воениздат, 1985. - 292 с.

120. Фокин Ю.Г. Надежность при эксплуатации технических средств. - М.: Воениздат, 1970. - 224 с.
121. Психофизиология операторов систем управления / Под ред. К.А. Иванова-Муромского. - Киев: Наукова думка, 1980. - 360 с.
122. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. - Л.: Наука, 1982. - 270 с.
123. Гаврилов Э.В. Транспортный поток как активная система // Труды междунар. конф. «Эргономика на автомобильном транспорте». - Харьков: ХГАДТУ. - 1997. - С. 19-25.
124. Haber Philip. Medical evaluation for respirator use // Journal of Occupational Medicine, 26 (7). - 1984, July. - P. 496-502.
125. Ломов Б.Ф. Человек и техника. - М.: Сов.радио, 1966. - 464 с.
126. Войненко В.М., Мунипов В.М. Эргономические принципы конструирования. - К.: Техніка, 1988. - 119 с.
127. Пятибратов А.П. Человеко-машинные системы: эффект эргономического обеспечения. - М.: Экономика, 1987. - 200 с.
128. Смирнов Б.А., Душков Б.А., Космолинский Ф.П. Инженерная психология (Экономические проблемы). - М.: Экономика, 1983. - 224 с.
129. Explosion im Dorfkern // Pirchl Christoph. Schweiz. Feuerwehr – Ztg. - 2005, 131, № 2. - P. 53-54.

Додаток А. Події та умови, які використані в імітаційній моделі

Таблиця А.1

Мінімальні і максимальні значення окремих операцій, що входять до моделі АРР СМ

t_i	Дія	t_{min}	t_{max}
1	2	3	4
t_1	Повідомлення машиністу про пожежу	5	26
t_2	Дія машиніста за інструкцією	27	90
t_3	Дія співробітників станції за інструкцією	45	150
t_4	Оцінка ситуації машиністом	4	25
t_5	Гасіння машиністом пожежі вогнегасниками з кабіни	15	50
t_6	Аналіз машиністом результатів гасіння вогнегасниками з кабіни	4	10
t_7	Рух співробітників метрополітену до пожежного крана	6	20
t_8	Оцінка ситуації співробітниками станції	5	19
t_9	Гасіння працівниками станції пожежі порошковими вогнегасниками (ВП-50)	171	360
t_{10}	Аналіз працівниками станції результатів гасіння порошковими вогнегасниками (ВП-50)	12	40
t_{11}	Аналіз співробітниками станції можливості подачі ствола від пожежного крана	5	21
t_{12}	Подача ствола від пожежного крана співробітниками метрополітену на гасіння пожежі	18	60
t_{13}	Зняття напруги з контактної рейки	120	470
t_{14}	Виклик диспетчером пожежно-рятувальної служби	60	305
t_{15}	Оповіщення диспетчером керівного складу станції	40	145
t_{16}	Прибуття підрозділів пожежно-рятувальної служби, оснащених апаратами АСВ-2	300	1000
t_{17}	Видача співробітниками станції допуску на вхід пожежно-рятувальної служби	30	72
t_{18}	Підготовка ланки до роботи і включення в АСВ-2	60	410
t_{19}	Рух ланки ГДЗС до станції	100	660

1	2	3	4
t ₂₀	Приєднання рукава до головки сухотруба і пошук потерпілих у вестибюлі станції та на ескалаторі	18	179
t ₂₁	Команда щодо подальших дій керівництвом станції	5	40
t ₂₂	Виклик співробітниками станції гірничорятувальників	30	100
t ₂₃	Збір і просування гірничорятувальників до станції, на якій відбулася пожежа	600	1300
t ₂₄	Виклик співробітниками станції технічної служби метрополітену	10	80
t ₂₅	Виклик співробітниками станції керівного складу метрополітену	30	170
t ₂₆	Підготовка гірничорятувальників до включення в апарати	60	410
t ₂₇	Створення штабу пожежогасіння	60	340
t ₂₈	Включення співробітниками станції ескалаторів на підйом	60	200
t ₂₉	Передача диспетчером команди машиністам зупинитися на сусідніх станціях	20	55
t ₃₀	Повідомлення машиніста про подальші дії пасажирі	10	45
t ₃₁	Вихід пасажирів з вагона на платформу станції	15	50
t ₃₂	Просування людей до ескалатора	15	50
t ₃₃	Просування людей по виключених ескалаторах	180	720
t ₃₄	Просування людей по включених ескалаторах	35	75
t ₃₅	Надання персоналом станції допомоги пасажирам при евакуації	30	100
t ₃₆	Просування пасажирів на безпечну відстань (тунель, інша платформа)	20	55
t ₃₇	Включення аварійного режиму вентиляції	60	200
t ₃₈	Просування пасажирів разом зі співробітниками станції по сусідньому тунелі на іншу станцію або до вентиляційних камер	800	2000
t ₃₉	Просування пасажирів від ескалатора до турнікетів	15	64
t ₄₀	Просування пасажирів від турнікетів до переходу	20	91

1	2	3	4
t ₄₁	Втрата свідомості пасажирями, які перебувають у непридатному для дихання середовищі	40	110
t ₄₂	Огляд місця пожежі, остаточне гасіння, розбирання конструкцій	300	2400
t ₄₃	Просування до виходу співробітників станції, що беруть участь у гасінні пожежі	49	140
t ₄₄	Виклик всіх необхідних служб, а також необхідної кількості сил і засобів пожежно-рятувальної служби	600	1300
t ₄₅	Транспортування першого потерпілого на свіже повітря	60	165
t ₄₆	Просування пасажирів по переходу станції до виходу на вулицю	25	130
t ₄₇	Забезпечення співробітниками ДАІ під'їзду автомобілів для проведення пожежно-рятувальних робіт і медичної допомоги	60	480
t ₄₈	Надання медичної допомоги потерпілим	300	1000
t ₄₉	Передача потерпілого медичним працівникам	5	40
t ₅₀	Заміна апаратів АСП на РДА	60	200
t ₅₁	Вхід ланки в РДА	120	330
t ₅₂	Виявлення потерпілого ланкою в РДА і перенесення його до виходу	300	1000
t ₅₃	Вихід на свіже повітря співробітників станції, що беруть участь у гасінні пожежі	90	195
t ₅₄	Транспортування потерпілого до автомобіля швидкої допомоги	20	80
t ₅₅	-	1	1
t ₅₆	Передача першого потерпілого медичним працівникам	5	40

Умови для виконання окремих операцій, що входять до моделі АРР СМ

р _і	Умова
1	2
р ₁	Загоряння в метрополітені
р ₂	Машиніст оповіщений
р ₃	Диспетчер станції сповіщений
р ₄	Машиніст готовий гасити пожежу
р ₅	Машиніст може за допомогою гучномовному зв'язку сповістити пасажирів про їх подальші дії
р ₆	Машиніст може скористатися вогнегасниками
р ₇	Немає вогнегасників у кабіні або машиніст не вміє ними користуватися
р ₈	Машиніст припиняє гасіння пожежі вогнегасниками
р ₉	Пожежа не погашена, є вогнегасники в кабіні
р ₁₀	Пожежа погашена машиністом вогнегасниками з кабіни
р ₁₁	Пожежа не погашена, немає заряду у вогнегасниках з кабіні
р ₁₂	Персонал станції готовий виконати пункт інструкції про гасіння пожежі первинними засобами
р ₁₃	Відсутність робочих вогнегасників на станції або персонал станції не вміє користуватися ними
р ₁₄	Співробітники станції можуть скористатися вогнегасниками
р ₁₅	Співробітники станції припиняють гасіння пожежі вогнегасниками
р ₁₆	Пожежа не погашена, є вогнегасники на станції
р ₁₇	Пожежа не погашена, немає заряду у вогнегасниках зі станції
р ₁₈	Пожежа погашена співробітниками станції вогнегасниками зі станції
р ₁₉	Співробітники метрополітену підбігають до пожежного крана
р ₂₀	Співробітники метрополітену не вміють з'єднати рукава чи немає стволів і рукавів на пожежних кранах
р ₂₁	Співробітники метрополітену вміють з'єднати рукава і є стволи і рукава на пожежних кранах
р ₂₂	Ускладнення обстановки на пожежі
р ₂₃	Пожежа погашена стволом від пожежного крана
р ₂₄	Заявка про зняття напруги з контактної рейки
р ₂₅	Співробітники станції готові викликати пожежно-рятувальну службу
р ₂₆	Співробітники станції можуть сповістити керівництво метрополітену
р ₂₇	Співробітники станції можуть видати допуск на вхід пожежно-рятувальних підрозділів
р ₂₈	Збір і просування до місця пожежі
р ₂₉	Керівництво станції сповіщене і готове діяти

1	2
p ₃₀	Рятувальники готові увімкнути в апарати
p ₃₁	З'єднання зчіпкою і організація поста безпеки
p ₃₂	Допуск на вхід виданий
p ₃₃	Достатня кількість повітря в АСП і підготовленість особового складу пожежно-рятувальної служби
p ₃₄	Команда на виклик гірничорятувальників
p ₃₅	Команда на виклик технічної служби метрополітену
p ₃₆	Команда на оповіщення керівництва метрополітену
p ₃₇	Співробітники метрополітену знають про необхідність включення аварійного режиму вентиляції
p ₃₈	Співробітники пожежно-рятувальної служби готові включитися в роботу штабу пожежогасіння
p ₃₉	Гірничорятувальники прийняли виклик і готові виїхати на пожежу
p ₄₀	Гірничорятувальники прибули
p ₄₁	Гірничорятувальники готові включитися в роботу штабу
p ₄₂	Прибуття технічної служби метрополітену і її готовність включитися в роботу штабу
p ₄₃	Прибуло керівництво метрополітену і готове включитися в роботу штабу
p ₄₄	Гірничорятувальники готові спускатися на станцію
p ₄₅	Персонал метрополітену готовий надавати допомогу пасажиром при евакуації
p ₄₆	Співробітники станції готові включити всі ескалатори на підйом
p ₄₇	Ескалатори запущені, і люди можуть евакуюватися по них
p ₄₈	Ескалатори не включаються
p ₄₉	Диспетчер станції може дати команду машиністам інших поїздів зупинитися на сусідніх станціях
p ₅₀	Поїзди зупиняються на сусідніх станціях, і пасажирів виходять із них
p ₅₁	Потерпілі бачать рятувальників
p ₅₂	Люди можуть евакуюватися
p ₅₃	Відсутність великого задимлення і високої температури на шляхах евакуації
p ₅₄	Наявність великого задимлення на шляхах евакуації
p ₅₅	Наявність високої температури на шляхах евакуації
p ₅₆	Люди підбігають до ескалаторів, які виключені
p ₅₇	Люди підбігають до ескалаторів, які включені на підйом
p ₅₈	Паніка і тиснява
p ₅₉	Підвищення задимленості в ескалаторному тунелі

1	2
p ₆₀	Більша концентрація диму по всьому обсязі станції
p ₆₁	Народ готовий евакуюватися по тунелю
p ₆₂	Співробітники метрополітену знають про можливість евакуації пасажирів по сусідньому тунелю або через вентиляційні шахти
p ₆₃	Відсутність диму в тунелі
p ₆₄	Вентиляція не справляється з димом
p ₆₅	Співробітники метрополітену вивели пасажирів до вентиляційної камери або на сусідню станцію
p ₆₆	Народ встиг досягти виходу
p ₆₇	Народ не встиг досягти виходу
p ₆₈	Співробітники станції досягли виходу
p ₆₉	Штаб готовий приступити до роботи
p ₇₀	Підрозділи пожежно-рятувальної служби прибули до місця пожежі після того, як її загасили співробітники станції
p ₇₁	Потерпілий знайдений
p ₇₂	Перший потерпілий доставлений до автомобіля швидкої допомоги
p ₇₃	Пасажири починають кашляти і задихатися
p ₇₄	Прибуття автомобіля централізованої бази ГЗДС
p ₇₅	Прибуття медичної допомоги
p ₇₆	Прибуття ДАІ
p ₇₇	Є вільне місце для надання допомоги потерпілим
p ₇₈	Перший потерпілий доставлений на свіже повітря
p ₇₉	Медичні працівники прийняли потерпілого
p ₈₀	Потерпілі залишилися на станції
p ₈₁	Рятувальники в РДА
p ₈₂	Апарати замінені
p ₈₃	Люди в непритомному стані лежать на платформі станції
p ₈₄	Ланка в РДА прибула на станцію
p ₈₅	Ланка в РДА досягла виходу з потерпілим
p ₈₆	В АСП закінчилося повітря
p ₈₇	Рятувальники готові передати першого потерпілого медичним працівникам
p ₈₈	На станції немає потерпілих
p ₈₉	Пасажири вибралися на свіже повітря
p ₉₀	Надана допомога потерпілому
p ₉₁	Повна ліквідація пожежі
p ₉₂	Співробітники станції вийшли на свіже повітря

Характеристика задуму тактико-спеціального навчання на станції Харківського метрополітену «Радянська»

1. Коротка оперативно-тактична характеристика об'єкта

Станція метро "Радянська" відноситься до станцій глибокого закладення. До комплексу станції входять наступні приміщення:

- наземний вестибюль зі службово-побутовими приміщеннями;
- ескалаторний тунель верхнього нахилу з конструкціями ескалаторів і натяжних пристроїв;
- машинні зали нижнього й верхнього нахилу зі службовими приміщеннями, що розташовані під проміжним вестибюлем;
- платформа зі службовими й підплатформними службово-побутовими приміщеннями;
- станційні тунелі з розташованими в них залізничними коліями, перехідними містками, сходами, вентиляційними, санітарно-технічними вузлами й дренажними перекачуваннями;
- ескалаторний тунель нижнього нахилу з конструкціями ескалаторів та натяжними пристроями.

Всього на станції є 62 приміщення. Станція "Радянська" є трьох склепінною станцією пілонного типу. Всі спорудження станції мають І ступінь вогнестійкості, побудовані зі збірного залізобетону. Обробка станційних тунелів виконана із чавунних тубінгів. У станційних приміщеннях і тунелях, у межах їхньої склепінної частини, для запобігання просочування води підвішена водозахисна парасолька.

Посадкова платформа станції метро "Радянська" відноситься до типу двоплатформених з бічними платформами. Під платформою по її довжині розміщені службово-побутові приміщення й кабельний тунель (колектор), що має зв'язок із платформою через два люки, які розташовані в торцях платформи. На станції є перехід на станцію «Історичний музей».

Машинні зали забезпечують роботу 3-х ескалаторів, які розміщуються в спеціальних ескалаторних тунелях, споруджених під кутом 30° до горизонту. Довжина ескалаторів становить 60 м. Швидкість руху ескалаторних стрічок – 0,92 м/сек.

Обробка ескалаторних тунелів здійснена чавунними тубінгами. В середині тунелю підвішена водозахисна парасолька із гладких азбестоцементних плит. Всі елементи ескалаторів змонтовані з металевих конструкцій, що складаються із двох бічних ферм і поперечних перетинів. Металевий каркас ескалаторів і балюстрад обшитий декоративною фанерою, товщиною 10 мм, захищеною з боку ходків листовим азбестом, товщиною 3 мм. Поручні, встановлені на балюстрадах, гумові. Вага одного погонного метра – 5 кг. Ступені ходових полотен ескалатора типу ЕМ-4 зроблені з волокнистого настилу. Горюче завантаження ескалаторного тунелю

становить 40-50 кг/м².

В машинному залі рух ескалаторів забезпечується 3-ма електродвигунами головного приводу через редуктори й електродвигуни допоміжного приводу. Електродвигуни живляться від змінного струму 380 В. Редуктори наповнені мастилом до 450 кг кожний. Циркуляція мастила в редукторах здійснюється під тиском 0,15 МПа з місткістю 1,2 т.

Управління ескалаторами здійснюється:

- диспетчером ескалаторів електромеханічної служби метро, що дислокується в диспетчерській на станції «Центральний ринок»;
- машиністом ескалаторів з машинного залу;
- з пультів управління, розташованих у наземному вестибюлі й натяжній камері.

Таким чином, пожежна небезпека станції характеризується наявністю великої кількості зосередження електротехнічного встаткування, промаслених механізмів, що рухаються, полімерних матеріалів, які згорають, значним обсягом мастил у редукторах основного приводу ескалаторів. Пожежі в ескалаторних тунелях і машинних залах характеризуються високою температурою, виділенням токсичних газів і диму при неповному згоранні полімерних матеріалів, мінеральних масел і гумових поручнів. При пожежі можливі деформації й обвалення конструкцій і вузлів ескалаторів (металеві конструкції, тягові ланцюги, ступені, що направляють).

2. Мета навчання

Поряд з вивченням оперативно-тактичної характеристики станцій глибокого закладення Харківського метрополітену, особливостей ведення оперативних дій особового складу при пожежі на підземних спорудженнях і тактичних дій працівників метрополітену (машиніста, диспетчера потягу, енергодиспетчера, диспетчера енергомеханічної служби, чергового персоналу станції, працівників міліції) у разі виникнення пожежі в рухливому складі, а також відпрацювання питань взаємодії посадових осіб метрополітену й пожежної охорони відповідно до Інструкції взаємодії ГУ МНС України в Харківській області й Харківського метрополітену, створення й роботи оперативного штабу щодо керівництва проведенням рятувальних робіт і ліквідації надзвичайної ситуації, елементів оперативного розгортання ланок ГДЗС від внутрішнього пожежного крана з подачею стволів на гасіння пожежі у вагоні рухомого складу, організації зв'язку, роботи контрольно-перепускного пункту, оперативних груп розвідки, порятунку потерпілих і гасіння пожежі, метою навчань було експериментальне визначення:

- часу спуску особового складу ГДЗС на платформу станції з верхнього вестибюля з використанням і без використання працюючого ескалатора;
- часу евакуації пасажирів рятувальниками зі станції по працюючих і нерухомих ескалаторах;
- часу подачі магістральної лінії від пожежного гідранта, розташованого

- по вул. Сумській, на платформу станції метро;
- ступеня навантаження й витрати повітря (кисню) в процесі виконання окремих операцій оперативної роботи особовим складом ГДЗС.

Виходячи з цього, було поставлене завдання дослідити особливості застосування різних засобів індивідуального захисту органів дихання для забезпечення безпеки газодимозахисників у ході робіт з порятунку потерпілих і гасіння пожеж на станціях метро глибокого закладення.

3. Тактичний задум

Вихідні дані:

1. Потяг складається з 5 вагонів, розміри яких у плані становлять 18,8 x 2,67 м. Площа вагона – 50,2 м².
2. Кількість людей у вагоні на момент виникнення пожежі – 200÷250 чоловік.
3. Час проходження від станції "Центральний ринок" до станції "Радянська" становить одну хвилину тридцять секунд.
4. Час підйому з посадочної платформи у вестибюль – 2 хвилини 45 секунд.
5. Швидкість розвитку пожежі $V_{лин} = 2 м / хв.$

Опис тактичного задуму:

У певний час (Ч) машиніст потягу, який слідує від станції "Центральний ринок" до станції "Радянська", одержує повідомлення, що в третьому вагоні відбулося загоряння. Після уточнення інформації про пожежу машиніст доповідає диспетчерові потягу й вживає заходи щодо виведення потяга на станцію "Радянська" для висадки пасажирів.

Після прибуття потяга з палаючим 3-ім вагоном на ст. "Радянська" чергова по станції повідомляє про пожежу диспетчера метрополітену й вживає заходи щодо евакуації пасажирів з вагонів по ескалаторах і по переходах на станцію «Історичний музей». Декілька пасажирів отримали травми й не можуть евакуюватися самостійно.

У відповідний момент (Ч+8 хв.) прибуває перший підрозділ чергового караулу ПДПЧ-9. На момент прибуття площа пожежі становить $S_{пож} = 15 м^2$. Станція має місцеве задимлення біля палаючого вагона, люди в паніці евакуюються по двох ескалаторах, що рухаються наверх, у вестибюль.

Перший керівник гасіння пожежі (КГП-1) організовує розвідувально-рятувальну групу (РРГ), яка по ескалатору, що рухається вниз, спускається для проведення розвідувально-рятувальних робіт та від внутрішнього пожежного крана подає один ствол «Б» на гасіння палаючого вагона й організовує евакуацію постраждалих пасажирів.

У відповідний момент (Ч+9 хв.) прибуває черговий караул ПДПЧ-17 у складі відділення на АЦ. За розпорядженням КГП-1 особовий склад у складі ланки ГДЗС прокладає магістральну лінію від АЦ ПДПЧ-9, встановленої на пожежний гідрант, через сухотруб і встановлює п'ятиходове розгалуження на

платформі станції.

Через певний час (Ч+10 хв.) на пожежу прибуває штаб пожежогасіння. КГП-2 організує подачу одного ствола «Б» ланкою ГДЗС для гасіння пожежі й захисту суміжних вагонів, організує роботу оперативного штабу, викликає служби "02", "03", віддає розпорядження щодо організації роботи контрольно-перепускного пункту (КПП), зв'язку на пожежі й створює оперативні ділянки. Створюється резерв ланок ГДЗС.

Через 12 хв. (Ч+12 хв.) – пожежа в 3-ому вагоні, $S_{пож}=42, \text{ м}^2$. До місця виклику прибуває черговий караул навчальної пожежно-рятувальної частини. КГП-2 віддає розпорядження ланкам ГДЗС подати 2 стволи «Б» для захисту кабельних тунелів.

За 13 хв. (Ч+13 хв.) горить весь 3-ій вагон. На пожежу прибувають караули ПДПЧ-1 (2 АЦ) і ПДПЧ-3 (2АЦ). Вони за розпорядженням КГП-2 подають ланками ГДЗС 2 стволи «Б» для захисту сусідніх вагонів.

Через 15 хв. (Ч+15 хв.) горить 3-ій вагон. $S_{пож}=50,2 \text{ м}^2$. На пожежу прибуває відділення ПДПЧ-4, що за розпорядженням КГП-2 повинне перебувати в резерві. Прибуває керівний склад з апарату керівництва.

За 20 хв. (Ч+20хв.) евакуація пасажирів і обслуговуючого персоналу з платформи закінчена. Силами РРГ і особового складу ГДЗС від внутрішнього пожежного крана і від магістральної лінії подано 6 стволів "Б". Пожежа локалізована.

За відповідний час (Ч+50 хв.) пожежу ліквідовано.

