

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Дослідження режимів електроспоживання гірничих підприємств
щодо розробки рекомендацій зі зниження фактів настання аварійних та
псевдоаварійних ситуацій»

КНУ.МР.141.25.667-06

Виконав студент II курсу , групи СЕР-24м /Артем КОРОЛЬОВ/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Системи електропостачання промислових підприємств,
міст та локальних об'єктів»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Олексій МИХАЙЛЕНКО/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет
Факультет: електротехнічний
Освітній рівень: магістр
Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

КОРОЛЬОВ Артем Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Дослідження режимів електроспоживання гірничих підприємств щодо розробки рекомендацій зі зниження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є дослідження режимів електроспоживання гірничих підприємств щодо зниження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій. Завданням є розробка рекомендацій зі зниження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Оцінка та дослідження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств; II. Моделювання генезису фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Розподіл АС за місяцями року на гірничих підприємствах чорної металургії; II. Розподіл аварійних ситуацій (у %) за професійними групами по галузям; III. Структурна схема причинно-наслідкових зв'язків генезису аварійних ситуацій; IV. Поточковий граф причинно-наслідкових зв'язків генезису аварійних ситуацій; V. Експериментальні та теоретичні ймовірнісні моделі часу одного періоду перехідних процесів ОЗЗ.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Оцінка та дослідження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій	09.10.25
2	Оцінка стану безпеки процесу електроспоживання гірничих підприємств	08.11.25
3	Моделювання генезису фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств	04.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Артем КОРОЛЬОВ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Дослідження режимів електроспоживання гірничих підприємств щодо розробки рекомендацій зі зниження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій», КНУ.РМ.141.25.667-06

Об'єкт розробки – системи електроспоживання гірничих підприємств.

Мета роботи – дослідження режимів електроспоживання гірничих підприємств щодо розробки рекомендацій зі зниження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій.

Гірничодобувна промисловість України є однією з найбільш енергоємних та водночас небезпечних галузей.

Специфіка електроспоживання гірничих підприємств характеризується стохастичністю навантажень, важкими умовами експлуатації електрообладнання (підвищена вологість, запиленість, вібрація) та безперервністю технологічних процесів.

Статистика показує, що значна частка аварій (до 80%) пов'язана з експлуатацією гірничих машин та електрообладнання, причому критичну роль у виникненні нештатних ситуацій відіграє людський фактор.

Традиційні підходи до електробезпеки часто фокусуються виключно на технічних засобах захисту, ігноруючи той факт, що сучасна система електропостачання гірництва є складною ерготехнічною системою типу «людина — машина — середовище».

Тому дослідження взаємозв'язку між режимами електроспоживання, технічним станом мереж та «людським фактором» для розробки адаптивних алгоритмів запобігання аваріям є критично актуальним завданням.

ГІРНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА, СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ,
РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, АВАРІЙНІ СИТУАЦІЇ

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Оцінка та дослідження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств.....	9
1.1. Вихідні положення.....	9
1.2. Оцінка стану безпеки процесу електроспоживання гірничих підприємств.....	13
Розділ 2. Моделювання генезису фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств.....	23
Висновки	53
Список використаних джерел.....	54

Вступ

Гірничодобувна промисловість України є фундаментом енергетичної та сировинної незалежності держави, проте залишається однією з найбільш енергоємних та небезпечних галузей виробництва.

Специфіка електропостачання гірничих підприємств характеризується високою стохастичністю навантажень, наявністю важких пускових режимів потужних електроприводів та агресивним впливом навколишнього середовища, що створює постійні передумови для виникнення нештатних ситуацій.

Статистичні дані свідчать, що значна частка аварійних ситуацій (до 70–80%) безпосередньо пов'язана з порушеннями режимів електроспоживання та помилковими діями персоналу під час ліквідації локальних збоїв.

Сучасний рівень автоматизації гірничих робіт призводить до ускладнення технологічних процесів, перетворюючи систему електропостачання на складну ерготехнічну систему типу «людина — машина — середовище».

У такій системі надійність функціонування залежить не лише від технічного стану електрообладнання, а й від психофізіологічних властивостей оперативного персоналу, який часто не встигає адекватно реагувати на швидкоплинні аварійні процеси.

Традиційні методи захисту, орієнтовані виключно на фізичні параметри електромережі (струм, напруга), виявляються недостатньо ефективними, оскільки не враховують людський фактор як критичний елемент контуру управління.

У зв'язку з цим виникає гостра необхідність у науковому дослідженні взаємозв'язків між режимами електроспоживання та генезисом аварійних ситуацій.

Розробка нових підходів, які б поєднували моніторинг енергетичних параметрів з оцінкою стану ерготехнічної системи, є критично актуальною задачею.

Це дозволить перейти від стратегії «реагування на аварії» до стратегії їх «проактивного попередження», що має важливе значення для підвищення рівня промислової безпеки та економічної ефективності гірничих підприємств.

Розділ 1. Оцінка та дослідження фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств

1.1. Вихідні положення

Оцінка ефективності застосування електроенергії на гірничих підприємствах передбачає, поряд із дослідженням та оцінкою станів режимів електроспоживання, дослідження та оцінку безпеки при експлуатації електротехнічних комплексів та систем.

Вирішення проблеми безпеки електроспоживання гірничих підприємств має відбуватися в рамках розгляду процесів в ерготехнічній системі «людина – електроустановка – навколишнє середовище».

Різноманіття питань зазначеної проблеми не дозволяє в обсязі одного дослідження забезпечити їх вирішення.

У зв'язку з цим доцільним є виділення найбільш актуальних питань, а саме: дати оцінку стану безпеки електротехнічних комплексів та систем гірничих підприємств; виконати дослідження властивостей персоналу як елемента ерготехнічної системи; здійснити аналіз характеристик процесів, що зумовлюють аварійні ситуації в найбільш травмонебезпечних видах електроустановок [1].

Відповідно до методики дослідження в основу оцінки безпеки електротехнічних комплексів та систем покладено матеріали розслідування та обліку таких випадків (н.в.) Державної служби України з питань праці (Держпраці), управлінь та відділів профільних міністерств, окремих об'єднань та підприємств гірничодобувної промисловості (на період збору матеріалів із систем підприємств вугільної промисловості, чорної та

кольорової металургії, промисловості будівельних матеріалів, промисловості з видобутку мінеральних добрив).

До аналізу були прийняті дані про н.в. з тяжкими та летальними наслідками. Зазначена обставина зумовлена недостатністю обліку аварійних ситуацій електротравм з легкими наслідками через їх ускладнене виявлення через відсутність візуальних змін у потерпілого від "електричних ударів".

Виконане дослідження аварійних ситуацій охоплює період з 2015 р. по 2024 р. для гірничих підприємств вугільної промисловості, чорної та кольорової металургії, промисловості з видобутку мінеральних добрив та промисловості будівельних матеріалів.

З урахуванням реорганізації міністерств металургійного профілю, матеріали, що раніше належали до гірничих підприємств чорної металургії та кольорової металургії, рознесені до груп для гірничодобувних підприємств відповідно руд чорних та кольорових металів.

На підставі викладеного можна дійти висновку, що прийнятий до аналізу статистичний матеріал дозволяє вперше у вітчизняній практиці з єдиних методологічних позицій здійснити оцінку стану безпеки в електротехнічних комплексах та системах з охопленням: за обсягом – практично всіх гірничих підприємств основних добувних галузей промисловості.

Дослідження аварійних ситуацій передбачає як аналіз таких його загальних характеристик, як динаміка, питома вага, частота н.в., розподіл за окремими факторами тощо, так і моделювання процесу виникнення електротравм.

Моделювання генезису аварійних ситуацій дозволяє на основі причинного аналізу визначити причини та умови, джерела небезпек, небезпечні ситуації та небезпечні умови праці. Разом з цим моделі генезису

аварійних ситуацій дозволяють виконати ймовірнісну оцінку станів електроустановок електротехнічних комплексів, навколишнього середовища та персоналу – як елементів ерготехнічної системи забезпечення електробезпеки.

Раціональне вирішення питань забезпечення електробезпеки. В частині встановлення допустимих напруг дотику та струмів вимагає науково-обґрунтованих характеристик їх впливу на людину як об'єкт захисту в електроустановках. У зв'язку з цим одним із питань, спрямованих на підвищення умов електробезпеки, є проведення досліджень та встановлення первинних критеріїв електробезпеки.

Однією з основних потенційних причин, що зумовлюють виникнення аварійних ситуацій, є несправний стан електроустановок. Розподіл аварійних ситуацій (АС) за видами електроустановок показує, що до найбільш травмонебезпечних належать: у підземних виробках шахт і рудників – комплекс контактної електровозної відкатки (для вугільних шахт АС становить 37% загальної кількості н.в. у підземних виробках; для рудників чорної та кольорової металургії – відповідно 75% та 31%); на підприємствах з відкритою розробкою корисних копалин – розподільчі мережі напругою 6 кВ (для вугільних розрізів АС становить 32,8%; для кар'єрів чорної та кольорової металургії – відповідно 39,9% та 43,4%). Значний відсоток н.в. у розподільчих мережах 6 кВ на гірничих підприємствах з видобутку хімічної сировини та будматеріалів (відповідно 30% та 42,8%).

Підвищення умов електробезпеки в контактних мережах (к.м.) пов'язане з дослідженням їх як джерела небезпеки. Зокрема, необхідне дослідження параметрів к.м., що зумовлюють безпеку та стійку роботу захисту від ураження; електричних процесів як уражаючого фактора.

Підвищення умов електробезпеки в розподільчих мережах 6 кВ гірничих підприємств пов'язане з дослідженням процесу однофазних

замикань на землю, що є одним з основних видів аварійних станів мереж. За даними досліджень, однофазні замикання на землю становлять від 60 до 90% усіх замикань у розподільчих мережах.

На підставі викладеного видається доцільним при дослідженні безпеки процесу електроспоживання на гірничих підприємствах виділити питання дослідження первинних критеріїв електробезпеки, контактних мереж як джерела ураження, процесів при однофазних замиканнях на землю в розподільчих мережах 6 кВ.

1.2. Оцінка стану безпеки процесу електроспоживання гірничих підприємств

Динаміка аварійних ситуацій (АС) за період, що розглядається, на підприємствах основних гірничодобувних галузей характеризується наступним: кількість АС на підприємствах вугільної галузі та гірничих підприємствах кольорової металургії знизилася, відповідно, на 33 та 47%; на гірничих підприємствах з видобутку будівельних матеріалів та мінеральних добрив зниження кількості таких випадків (н.в.) не спостерігається; на гірничих підприємствах чорної металургії спостерігається зростання кількості АС на 15%.

Питома вага аварійних ситуацій в загальному виробничому травматизмі склала: для підприємств вугільної галузі 3,6%; для гірничих підприємств кольорової та чорної металургії, відповідно, 8,2 та 14,3%; для гірничих підприємств з видобутку будматеріалів та мінеральних добрив, відповідно, 17,8 та 13,1%.

Коефіцієнт частоти аварійних ситуацій з електротравматизмом характеризується за період, що розглядається (середнє значення): для підприємств вугільної галузі $-18,9 \cdot 10^{-6}$; для гірничих підприємств кольорової та чорної металургії, відповідно, $23,410^{-6}$ та $22,1 \cdot 10^{-6}$; для гірничих підприємств з видобутку будматеріалів та міндобрив, відповідно, $22,1 \cdot 10^{-6}$ та $36,1 \cdot 10^{-6}$.

Наведені дані, незважаючи на те, що вони характеризують період часу, при якому збільшувалася енергоємність технологічних процесів, зростала енергоозброєність праці, збільшувався обсяг виробництва, призводять до необхідності зробити висновки:

1. темпи зниження аварійних ситуацій порівняно з періодом 2015-2024 рр. знизилися;

2. стан електробезпеки на гірничих підприємствах є напруженим та вимагає підвищення ефективності зусиль науки та практики для скорочення кількості н.в. при застосуванні електроенергії.

У вугільній галузі понад 70% н.в. сталося на підприємствах з підземною розробкою родовищ, близько 30% – на підприємствах з відкритою розробкою родовищ.

Для галузей кольорової та чорної металургії зазначені показники відповідно склали 30% та 70%, 25% та 75%.

При видобутку промбудматеріалів майже всі н.в. сталися на підприємствах з відкритою розробкою.

При видобутку міндобриव кількість н.в. на підприємствах з відкритою розробкою в 1,4 рази перевищує аналогічний показник для підприємств з підземною розробкою.

Аналіз даних показує, що структура розподілу АС за рівнем напруги суттєво відрізняється для шахт та розрізів [2].

В умовах підземних виробок основну увагу треба приділити заходам щодо зниження аварійних ситуацій в електроустановках напругою до 1000 В, особливо в контактних мережах електровозної відкатки.

На розрізах основна увага має бути зосереджена на питаннях електробезпеки при експлуатації електроустановок напругою вище 1000 В. Структура розподілу АС за родом небезпечного фактора показує, що на електроустановки з випрямленою напругою припадає: від 16,1 до 57,1% н.в., що стаються на шахтах та рудниках (для умов підземних виробок цей показник ще вищий); від 8,3 до 18,5% н.в., що стаються на кар'єрах та розрізах.

Розподіл АС за видами електроустановок електротехнічних комплексів гірничих підприємств показує: для підприємств з підземною розробкою

найбільш небезпечні з точки зору аварійних ситуацій контактні мережі електровозної відкатки; для підприємств з відкритою розробкою найбільш травмонебезпечні електроустановки під час аварійних ситуацій (АС) – розподільчі пристрої, перемикальні пункти, повітряні та кабельні лінії електропередачі розподільчих мереж напругою 6 кВ.

Розподіл АС за місяцями року (рис. 1.1, 1.2) дозволяє говорити про наявність сезонності з максимумом у літні та мінімумом у зимові місяці. "Літній пік", що відзначався раніше в низці робіт з аналізу аварійних ситуацій, характеризує погіршення умов електробезпеки в результаті причин організаційного (зростання плинності кадрів, велика кількість відпусток і, як наслідок, зниження кваліфікаційного рівня працівників) та електропатологічного (зниження працездатності, посилення стомлюваності персоналу тощо внаслідок підвищення температури навколишнього середовища) характеру.

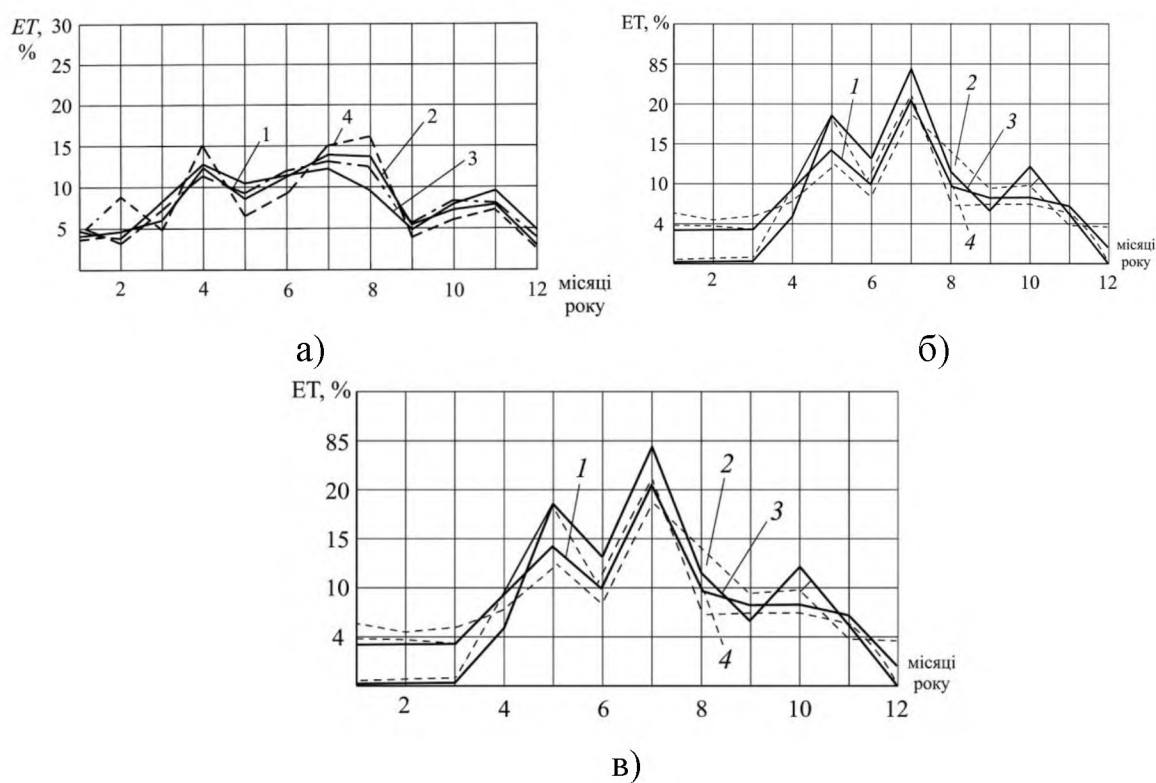
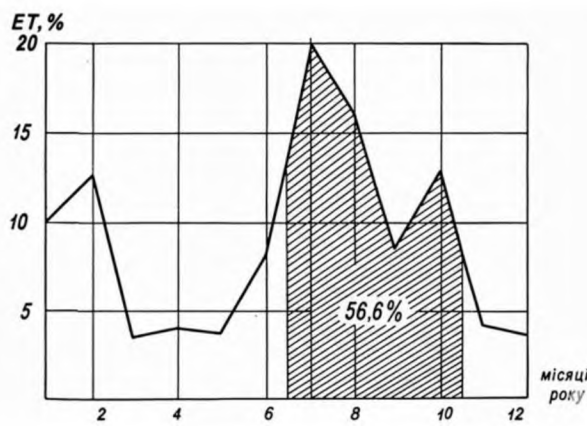
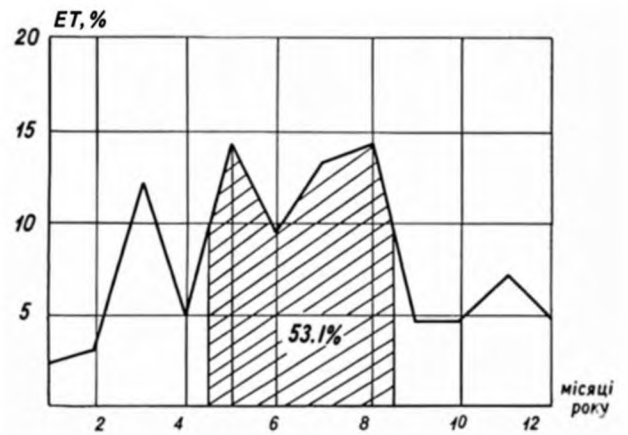


Рисунок 1.1 – Розподіл АС за місяцями року на гірничих підприємствах: а) – вугільної промисловості; б), в) - чорної, кольорової металургії (1 - галузь, 2 - шахти (рудники) загалом. 3 – підземні виробітку, 4 - розрізи (кар'єри)



а)



б)

Рисунок 1.2 – Розподіл АС за місяцями року на гірничих підприємства з видобутку хімічної сировини - а), будматеріалів - (б)

Динаміка АС за днями тижня та годинами доби (рис. 1.3-1.6) свідчить про нерівномірність їх розподілу.

Слід особливо відзначити велику кількість уражень у неділю. Очевидно, що великі обсяги монтажно-налагоджувальних робіт, що виконуються цього дня в умовах дефіциту часу та високої інтенсивності праці, вимагають кращої організації, посиленого нагляду з боку інженерно-технічного персоналу.

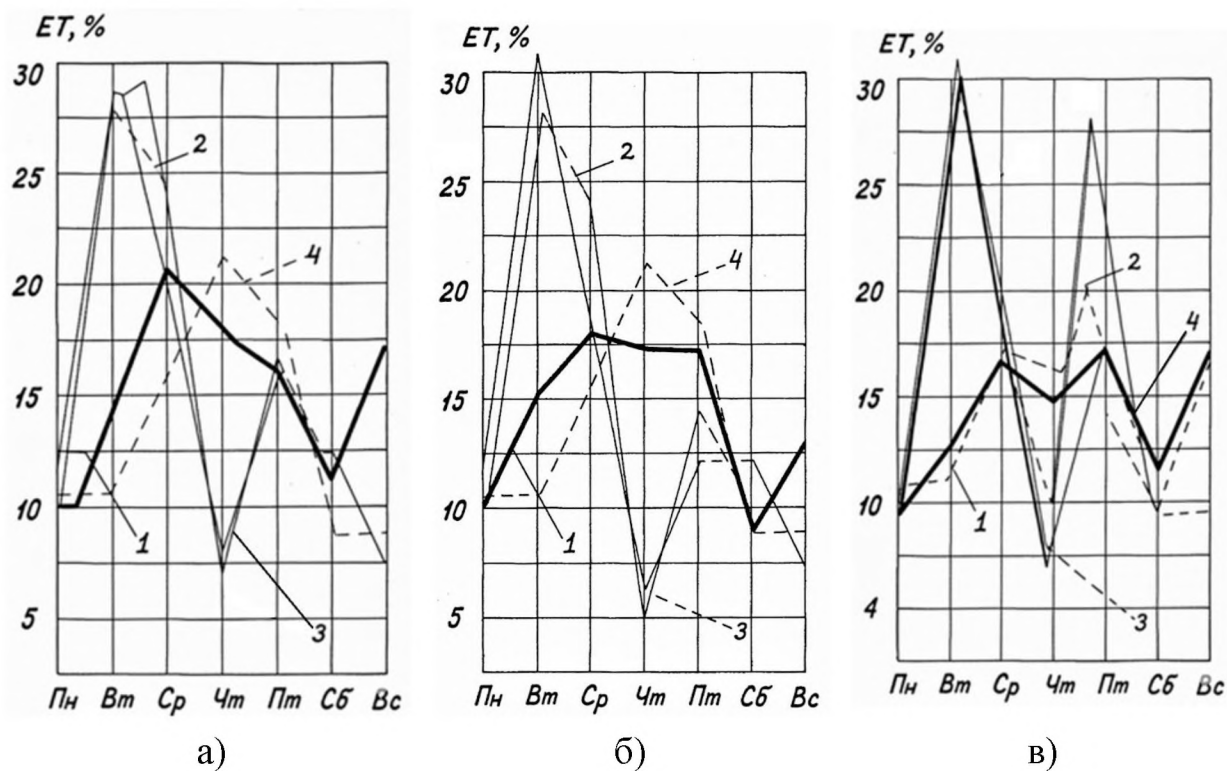
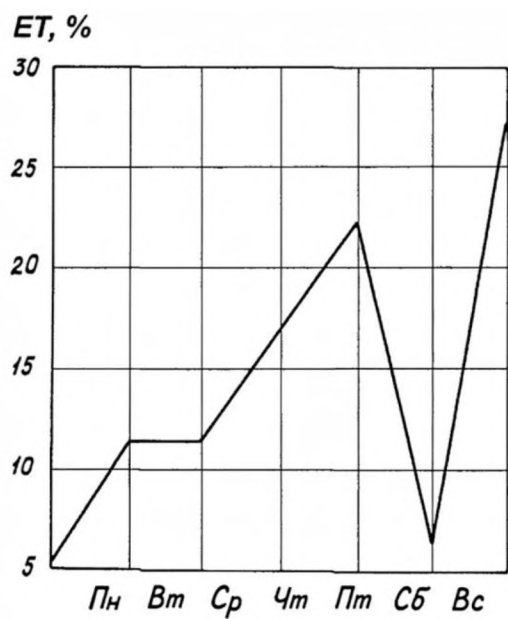
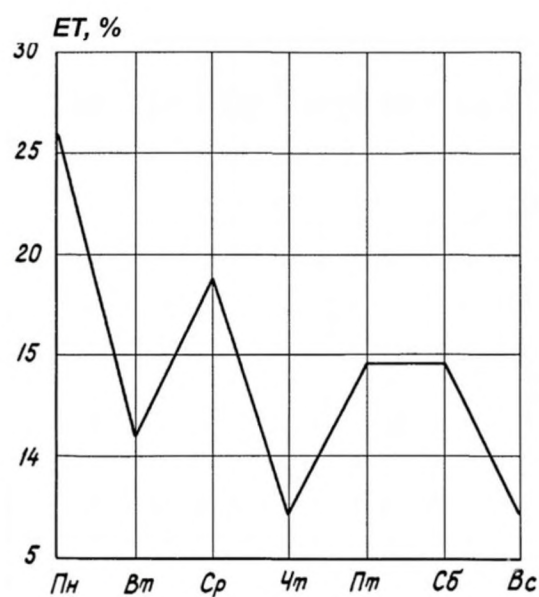


Рисунок 1.3 – Розподіл АС по днях тижня на гірничих підприємствах:
а) – вугільної промисловості; б) – чорної металургії; в) – кольорової металургії
(1 – галузь, 2 – шахти (рудники); 3 - підземні виробітки; 4 - розрізи (кар'єри)



а)



б)

Рисунок 1.4 – Розподіл АС по днях тижня на гірничих підприємствах з видобутку хімічної сировини (а), будматеріалів (б)

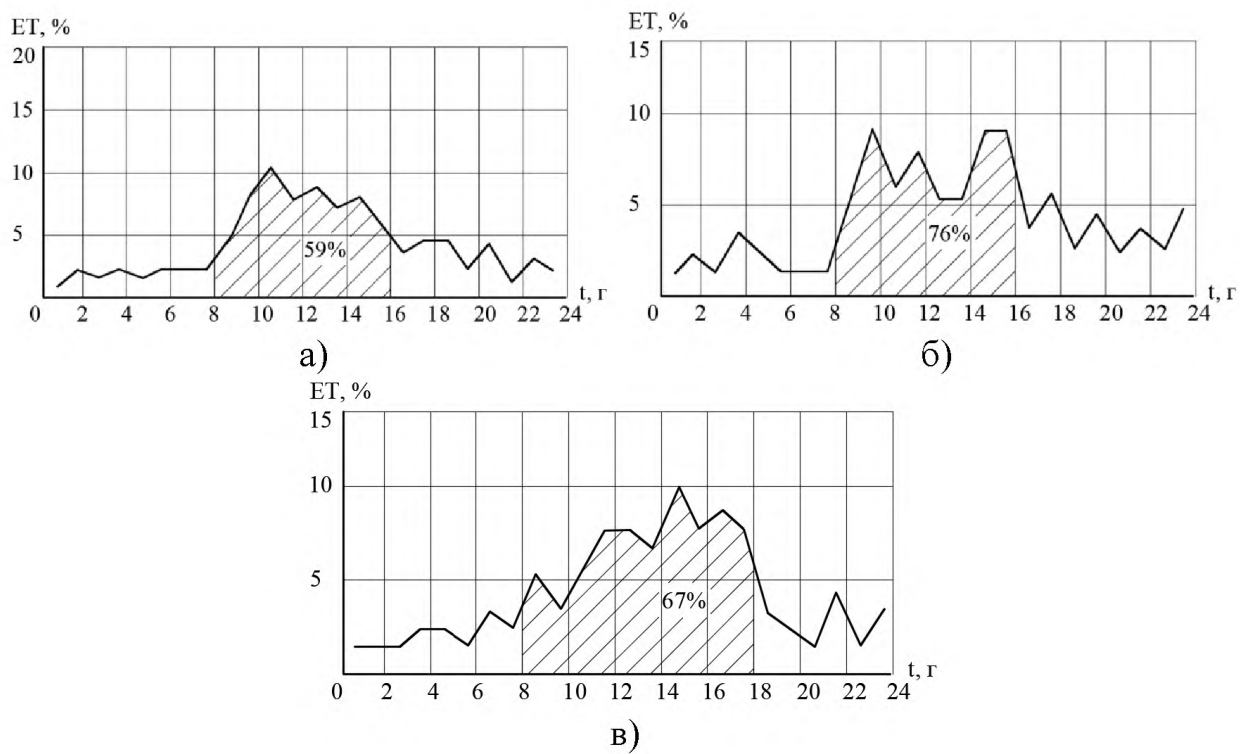


Рисунок 1.5 – Розподіл АС по годинах доби на гірничих підприємствах:
а) – вугільної промисловості; б) чорної та в) кольорової металургії

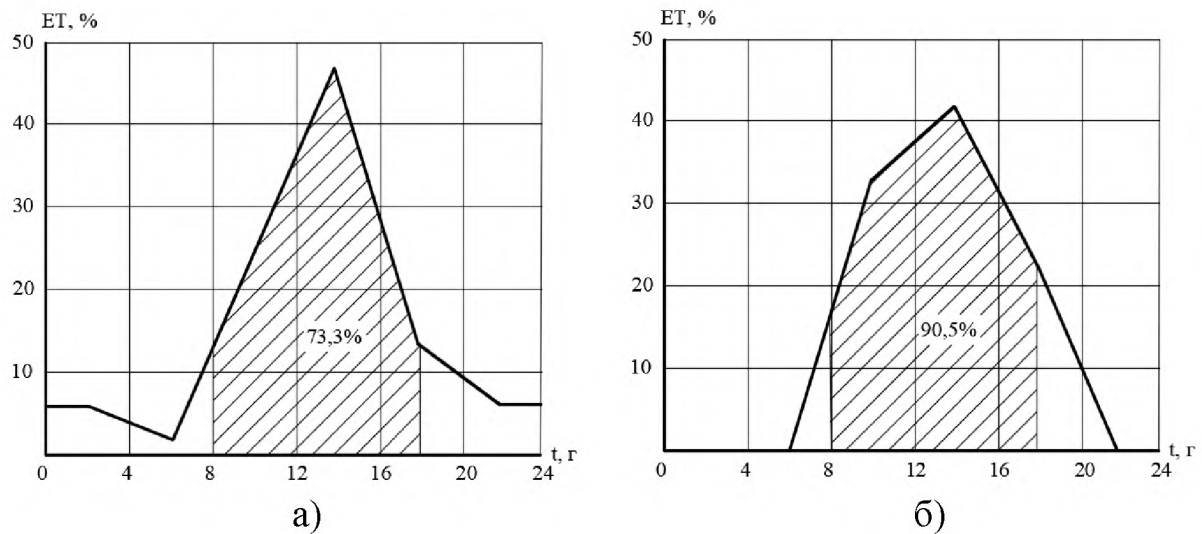


Рисунок 1.6 – Розподіл АС по годинам доби на гірничих підприємствах по видобутку: а) – хімічної сировини; б) – будматеріалів

Протягом доби розподіл кількості АС характеризується значним зростанням кількості таких випадків у денні години (з 8 до 17 год).

У цей період відбувається 59% н.в. на підприємствах вугільної промисловості; 76 і 67% н.в. на гірничих підприємствах відповідно кольорової та чорної металургії; 90 і 73% на підприємствах відповідно з видобутку промбудматеріалів та міндобриб.

Це зумовлено збільшенням кількості працюючих у цей час, великим обсягом робіт в електроустановках та комутацій електричних кіл.

Розгляд розподілів АС за днями тижня та годинами доби вказує на необхідність особливо ретельного дотримання вимог безпеки у зазначені періоди.

Розподіл АС за професійними групами характеризується даними табл. 1.1. Аналіз даних табл. 1.1 показує, що структура професій постраждалих різна

для підземного електротехнічного комплексу та електротехнічних комплексів поверхонь шахт (рудників), розрізів, кар'єрів.

В умовах підземних виробок значна кількість випадків уражень електричним струмом припадає на працівників неелектротехнічних професій. На шахтній поверхні та на розрізах переважна більшість уражень припадає на електротехнічний персонал.

Таблиця 1.1 Розподіл аварійних ситуацій (у %) за професійними групами по галузям

Галузь, підприємство, комплекс	Персонал	
	електротехнічний	неелектротехнічний
Вугільна		
шахти	39,5	60,5
підземний	53,4	46,6
поверховий	83,3	16,7
розрізи	91,1	8,9
Кольорова металургія		
рудники	33,1	66,9
підземний	37,5	62,5
поверховий	66,7	33,3
кар'єри	70,0	30,0
Чорна металургія		
рудники	56,6	43,4
підземний	56,3	47,3
поверховий	100,0	-
кар'єри	87,7	12,3

Розділ 2. Моделювання генезису фактів настання аварійних та псевдоаварійних ситуацій у процесі електроспоживання гірничих підприємств

Наведені методичні принципи дозволяють виконати аналіз процесу аварійних ситуацій з виділенням переважаючих причинно-наслідкових зв'язків генезису таких випадків [3].

Аналіз аварійних ситуацій на гірничодобувних підприємствах дозволяє виділити наступні три стадії при виникненні небезпеки таких випадків.

I. Перша стадія: Формування джерел небезпеки електроураження (ДНАС)

На першій стадії в процесі виробництва під впливом різноманітних причин та умов формуються джерела небезпеки аварійної ситуації (ДНАС).

Під джерелом небезпеки аварійної ситуації розуміють фактор, який містить у собі потенційні причини н.в.

В якості ДНАС в узагальненому вигляді виступають:

- аварійність технологічного процесу (обладнання);
- неправильні дії персоналу;
- небезпечні природні явища.

Причини та умови, що зумовлюють аварійні ситуації, за видом ДНАС, які вони формують, об'єднані у три класи:

1. Перший клас — причини та умови, що викликають аварійність технологічних процесів (обладнання).

2. Другий клас — причини та умови, що призводять до неправильних дій персоналу.
3. Третій клас — причини та умови, що зумовлюють небезпечні природні явища.

Всередині кожного класу причини та умови розбиваються на групи та підгрупи відповідно до різноманітності причинних зв'язків, що зумовлюють формування ДНАС.

II. Друга стадія: Виникнення небезпечних ситуацій (НС) та небезпечних умов праці (НУП)

На другій стадії внаслідок прояву джерел небезпеки виникають небезпечні ситуації (НС) та небезпечні умови праці (НУП).

Під небезпечною ситуацією розуміють стан об'єктивних факторів (засобів праці та середовища), що виник при прояві ДНАС, за якого дія небезпечного виробничого фактора відбувається практично миттєво при потраплянні персоналу в зону дії фактора [4].

Під небезпечними умовами праці розуміють умови праці, які утворюються, створюються, формуються внаслідок прояву ДНАС, за яких різко погіршуються умови електробезпеки і можливий вплив на працюючого небезпечного виробничого фактора.

При НУП (Небезпечних Умовах Праці) виконання трудових дій можливе лише за умови порушення вимог безпеки праці.

При НУП трудові дії мають бути спрямовані тільки на усунення ДНАС (Джерел Небезпеки Електроураження) та їх проявів.

На третій стадії за наявності НС (Небезпечної Ситуації) або НУП, присутності персоналу в зоні дії небезпечного виробничого фактора або

неправильних дій персоналу при НУП, що зумовлюють небезпечний струм, відбувається аварійна ситуація з електротравмуванням.

На підставі проведеного аналізу стадій процесу генезису аварійних ситуацій доцільно розглянути графічну інтерпретацію розглянутої схеми причинно-наслідкових зв'язків (рис. 2.1).

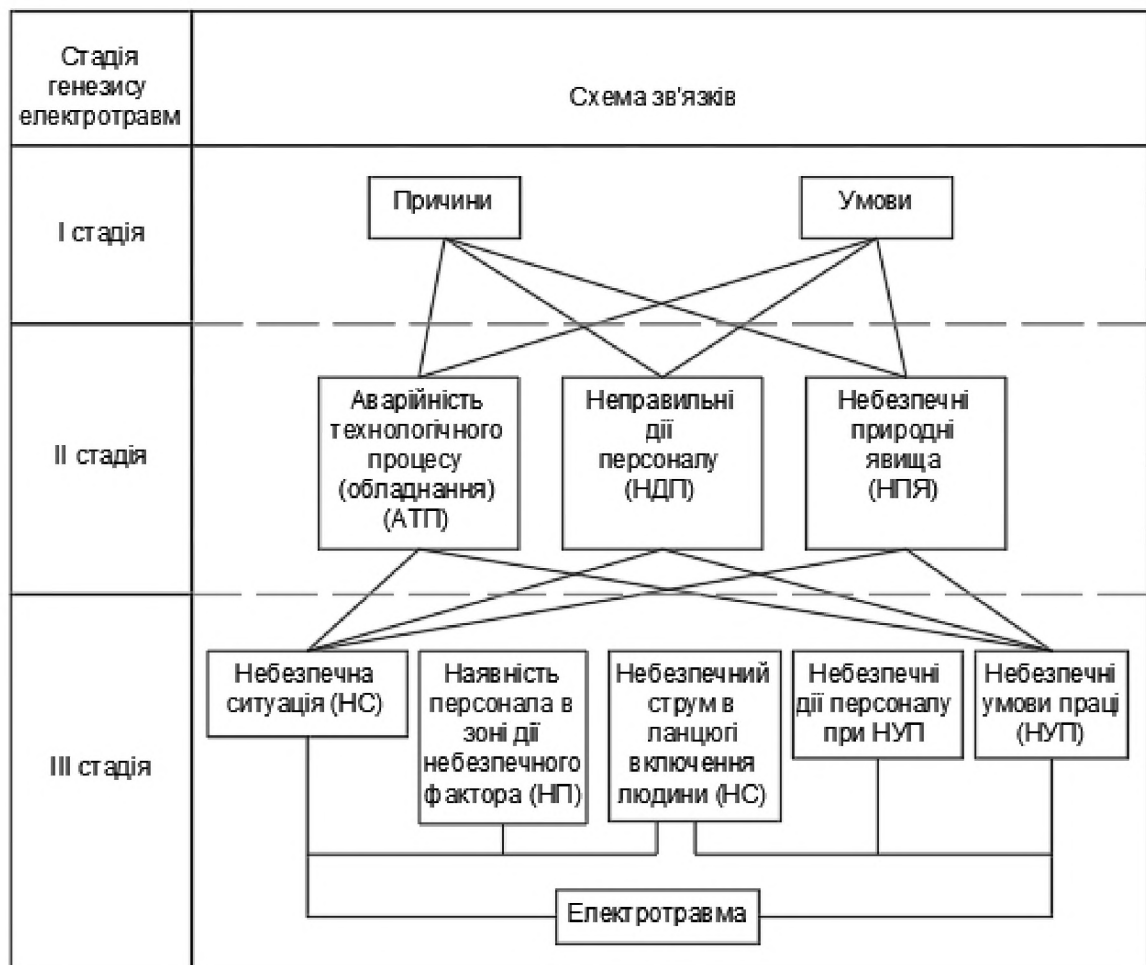


Рисунок 2.1 – Структурна схема причинно-наслідкових зв'язків генезису аварійних ситуацій

На схемі показано синтезовані (в результаті проведеного причинного аналізу н.в.) три стадії генезису аварійних ситуацій і причинно-наслідкові зв'язки між подіями на цих стадіях.

Наведена схема причинно-наслідкових зв'язків процесу виникнення аварійних ситуацій досить повно і точно моделює практично всі аналізовані випадки електротравматизму від аварійних ситуацій (за винятком випадків із нез'ясованими обставинами).

Для аналізу моделі причинно-наслідкових зв'язків генезису аварійних ситуацій доцільно схему подати у вигляді потокового графа (рис. 2.2).

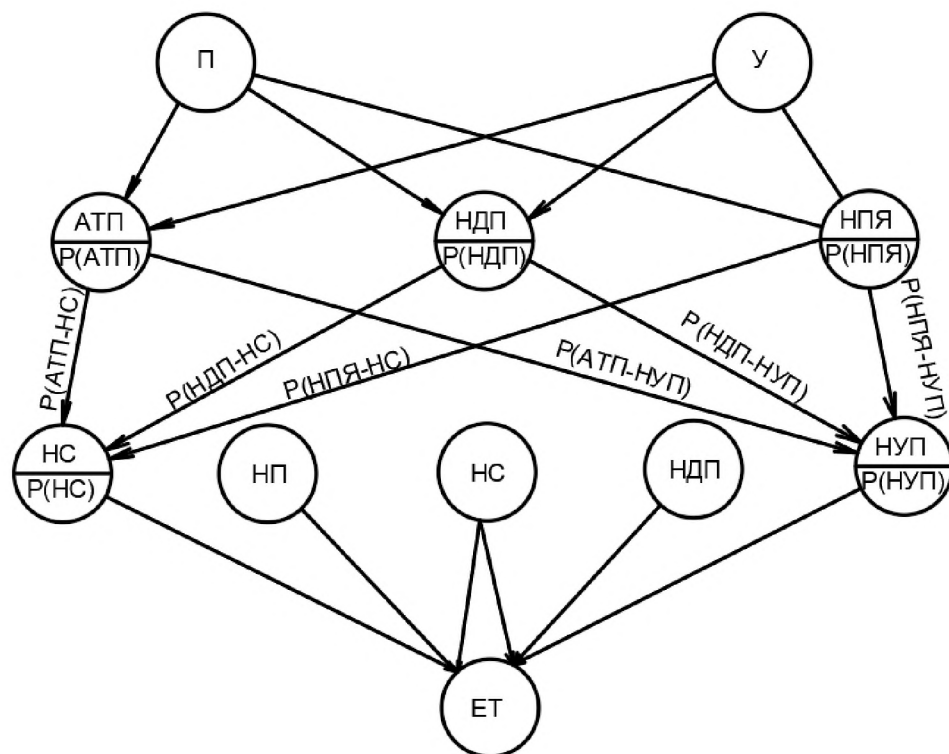


Рисунок 2.2 – Потоковий граф причинно-наслідкових зв'язків генезису аварійних ситуацій

Вершини потокового графа являють собою події, представлені на схемі причинно-наслідкових зв'язків аварійних ситуацій:

- П і У — причини та умови 1-ї стадії виникнення н.в.;
- АТП, НДП і НПЯ (відповідно, аварійність технологічного процесу (обладнання), неправильні дії персоналу, небезпечні природні явища) — події II-ї стадії;
- НС, ПП, НСЛ, НДП_НУП, НУП, АС (відповідно, небезпечна ситуація, присутність персоналу в зоні дії небезпечного фактора, небезпечний струм у ланцюзі ввімкнення людини, неправильні дії персоналу при небезпечних умовах праці, небезпечні умови праці, електротравма) — події III-ї стадії генезису н.в.

Імовірності виникнення подій на кожній стадії генезису н.в. наводяться під позначенням подій у вершинах графа.

Імовірності, наведені на ребрах потокового графа, показують статистичні частоти виникнення переходів моделі з одних станів однієї стадії в інші стани іншої стадії.

На основі аналізу статистичних даних з аварійних ситуацій виконана оцінка ймовірностей станів і переходів моделі генезису аварійних ситуацій для умов розглянутих галузей.

Аналіз процесу виникнення та походження аварійних ситуацій дозволяє побудувати трирівневу модель генезису таких випадків.

Моделі генезису електротравм (моделі ГАС) отримані на підставі аналізу статистичного матеріалу з електротравматизму від аварійних ситуацій.

Підприємства вугільної промисловості. Моделі ГАС отримані для умов підземних виробок шахт, поверхневих комплексів та збагачувальних фабрик, вугільних шахт у цілому, вугільних розрізів та галузі в цілому.

Характеристика (імовірність виникнення) станів та міжрівневих зв'язків моделі ГАС за різні періоди наведена в табл. 2.1, 2.2.

Графічне зображення моделей у вигляді потокових графів представлено: для галузі на рис. 2.3, для умов підземних виробок і поверхневих комплексів шахт, шахт (у цілому), розрізів на рис. 2.3–2.7.

Таблиця 2.1 Характеристика станів та міжрівневих зв'язків моделі

Рівні моделей ГАС	Стан моделюемого процесу	Ймовірність станів за періоди (роки)			
		2016- 2016	2018- 2022	2020- 2022	2022-2024
1	2	3	4	5	6
	Підземні вироблення шахт				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,48	0,57	0,42	0,46
	Неправильні дії персоналу	0,52	0,43	0,58	0,54
III-й	Небезпечна ситуація	0,52	0,55	0,58	0,51
	Небезпечні умови праці	0,48	0,45	0,42	0,49
	Поверхневі комплекси шахт				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,50	0,27	0,23	0,31
	Неправильні дії персоналу	0,50	0,73	0,75	0,67
	Небезпечні природні ситуації	-	-	0,02	0,02
III-й	Небезпечна ситуація	0,47	0,38	0,52	0,47
	Небезпечні умови праці	0,53	0,62	0,48	0,53

	Шахти (в цілому)				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,48	0,47	0,30	0,38
	Неправильні дії персоналу	0,52	0,53	0,69	0,62
	Небезпечні природні ситуації	-	-	0,01	0,01
III-й	Небезпечна ситуація	0,51	0,50	0,55	0,49
	Небезпечні умови праці	0,49	0,50	0,45	0,51
	Розрізи				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,18	0,38	0,30	0,29
	Неправильні дії персоналу	0,79	0,62	0,70	0,70
	Небезпечні природні ситуації	0,03	-	-	0,01
III-й	Небезпечна ситуація	0,37	0,34	0,40	0,40
	Небезпечні умови праці	0,63	0,66	0,51	0,60
	Галузь				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,40	0,45	0,80	0,34
	Неправильні дії персоналу	0,59	0,55	0,68	0,65
	Небезпечні природні ситуації	0,1	-	0,2	0,01
III-й	Небезпечна ситуація	0,47	0,46	0,53	0,48
	Небезпечні умови праці	0,53	0,54	0,47	0,52

Таблиця 2.2 Статистичні можливості переходів моделі ГАС для підприємств вугільної промисловості

Міжрівневі переходи	Ймовірність переходів за періоди (роки)			
	2016-2016	2018-2022	2020-2022	2022-2024
I	2	3	4	5
Підземні виробітки шахт				
АТП-ОС	0,34	0,43	0,33	0,32
АТП-ОУТ	0,14	0,14	0,09	0,14
НДП-ОС	0,18	0,12	0,25	0,19
НДП-ОУТ	0,34	0,31	0,33	0,35
Поверхневі комплекси шахт				
АТП-ОС	0,33	0,15	0,18	0,21
АТП-ОУТ	0,17	0,12	0,05	0,10
НДП-ОС	0,14	0,23	0,31	0,24
НДП-ОС	0,36	0,50	0,43	0,43
ОПЯ-ОС	-	-	0,03	0,02

Як показує аналіз моделей ГАС, на II-й стадії генезису аварійних ситуацій як потенційні причини н.в. виділяються аварійний стан електроустановок (АТП) та неправильні дії персоналу (НДП) (статистична ймовірність, відповідно, $0,29 \div 0,46$ та $0,54 \div 0,70$ за весь аналізований період).

Слід зазначити підвищені значення аварійності електроустановок у підземних виробках шахт $P(\text{АТП})=0,46$ та неправильних дій персоналу в електроустановках розрізів $P(\text{НДП})=0,70$.

Динаміка виникнення джерел небезпеки за аналізований період показує, що в генезисі н.в. зменшується частка аварійності електроустановок

і підвищується частка неправильних дій персоналу (за винятком умов розрізів, де відзначена тенденція має протилежний характер).

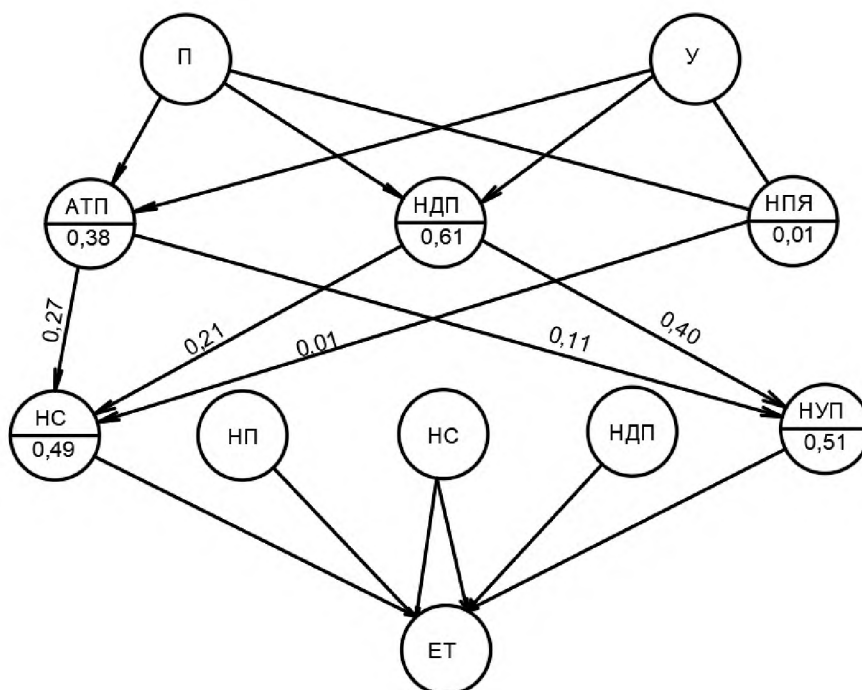


Рисунок 2.3 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках гірничих підприємств вугільної промисловості

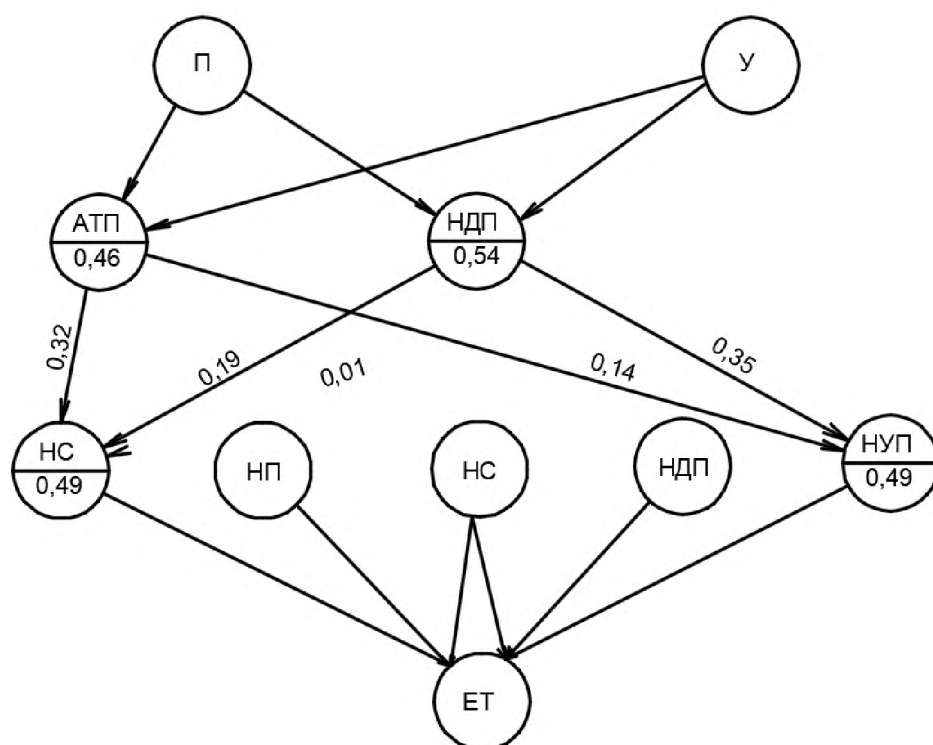


Рисунок 2.4 – Модель генезису аварійних ситуацій у підземних гірничих виробках вугільних шахт

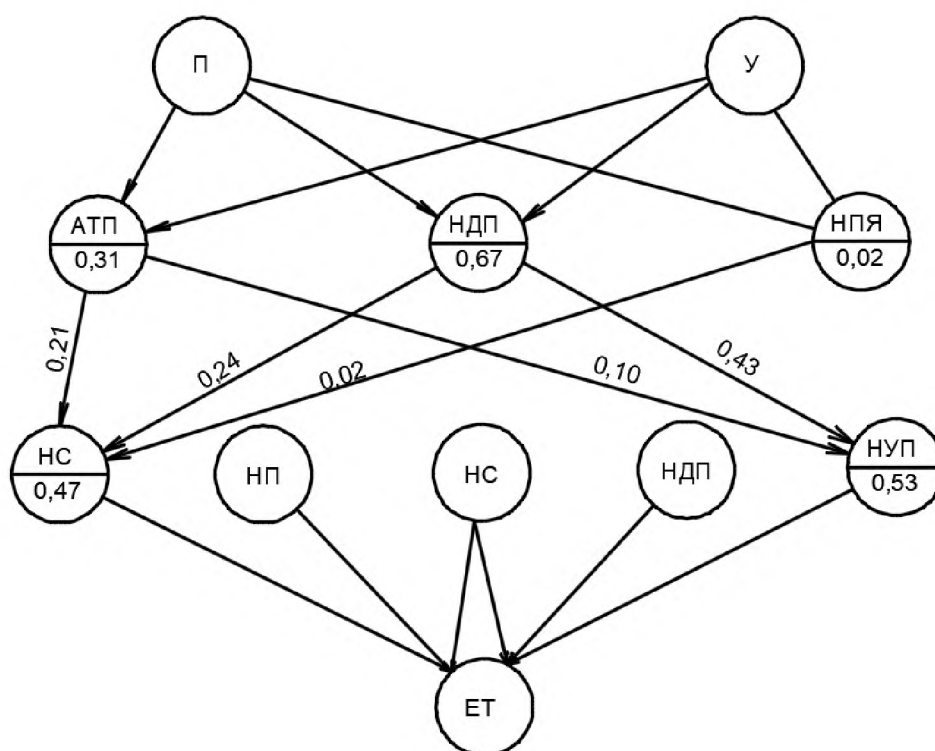


Рисунок 2.5 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках поверхневого комплексу вугільних шахт

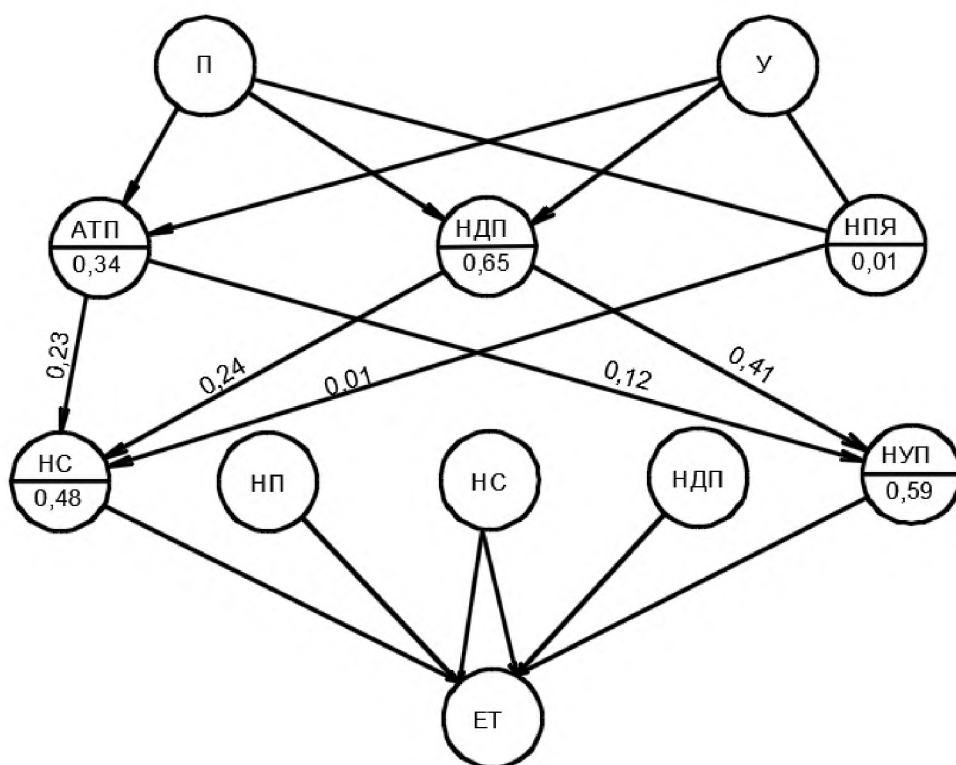


Рисунок 2.6 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках вугільних шахт

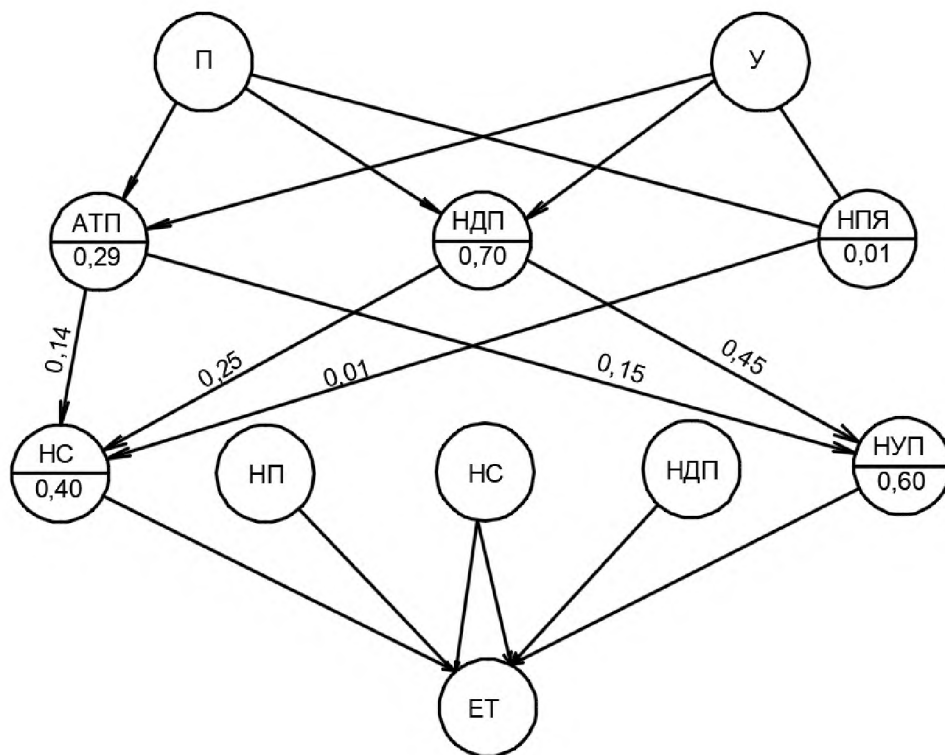


Рисунок 2.7 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках вугільних підприємств

На третій стадії генезису аварійних ситуацій виникають приблизно однаково як при НС (Небезпечна Ситуація), так і при НУП (Небезпечні Умови Праці) ($P(НС)=0,40 \div 0,51$, $P(НУП)=0,49 \div 0,60$ за весь аналізований період).

Динаміка виникнення зазначених станів моделі ГАС (Генезису аварійних ситуацій) показує збільшення частки НС і, відповідно, зменшення частки НУП.

Аналіз даних табл. 2.2 показує певну стабільність в імовірності переходів станів процесу з однієї стадії в іншу.

Виконаний аналіз дозволяє визначити спрямованість заходів щодо боротьби з настанням аварійних ситуацій:

- Для зниження кількості небезпек від аварійних ситуацій у підземних виробках шахт потрібно зменшити число неправильних дій персоналу та аварійність електроустановок, підвищити забезпеченість персоналу інформацією про небезпечні стани електроустановок, а також підвищити професійну підготовку персоналу в частині дій при небезпечних умовах праці.
- Для зниження кількості АС в електроустановках поверхневих комплексів та збагачувальних фабрик потрібно суттєво підвищити вимоги до персоналу в частині виконання правильних дій під час роботи.
- Для зниження кількості АС на розрізах потрібно зупинити зростання частки АТП (Аварійність Технологічного Процесу) у виникненні таких випадків, підвищити надійність (правильність) дій персоналу, особливо в екстремальних (стресових) ситуаціях.

Гірничорудні підприємства чорної металургії. Моделі ГАС синтезовані для умов підземних виробок рудників, поверхневих комплексів рудників та збагачувальних фабрик, кар'єрів і гірничих підприємств галузі в цілому.

Характеристика (імовірність виникнення) станів та міжрівневих зв'язків моделі ГАС за різні періоди наведені в табл. 2.3.

Графічне зображення моделей у вигляді потокових графів представлено: для галузі на рис. 2.8, для умов підземних виробок і поверхневих комплексів рудників, кар'єрів на рис. 2.9–2.11.

Таблиця 2.3. Статистичні можливості стану моделей ГАС для гірничорудних підприємств чорної металургії

Рівні моделей ГАС	Стан моделюемого процесу	Ймовірність станів за періоди (роки)		
		2018-2020	2020- 2022	2022-2024
1	2	3	4	5
	Підземні вироблення рудників			
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,67	0,70	0,71
	Неправильні дії персоналу	0,33	0,30	0,29
III-й	Небезпечна ситуація	0,67	0,70	0,67
	Небезпечні умови праці	0,33	0,30	0,33
	Поверхневі комплекси рудників та збагачувальних фабрик			
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,17	0,50	0,32
III-й	Небезпечна ситуація	0,17	0,25	0,24
	Небезпечні умови праці	0,83	0,75	0,76
	Кар'єри			
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,30	0,50	0,36
	Неправильні дії персоналу	0,70	0,50	0,64
III-й	Небезпечна ситуація	0,38	0,43	0,46
	Небезпечні умови праці	0,62	0,58	0,54
	Галузь			
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,33	0,55	0,41
	Неправильні дії персоналу	0,67	0,45	0,59
III-й	Небезпечна ситуація	0,39	0,48	0,39
	Небезпечні умови праці	0,61	0,52	0,61

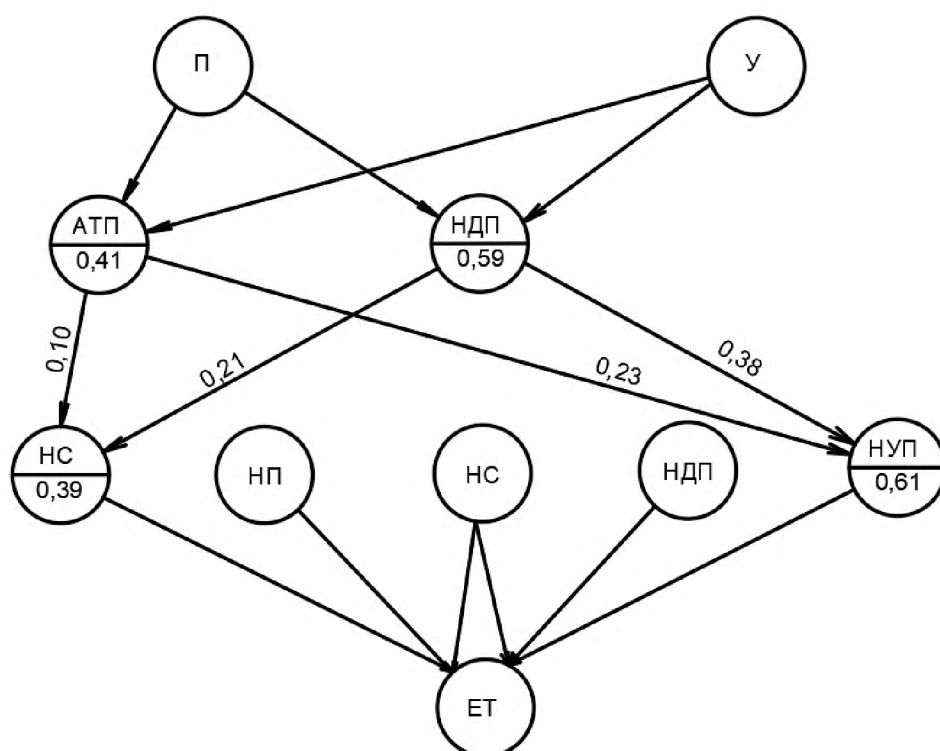


Рисунок 2.8 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках гірничих підприємств чорної металургії

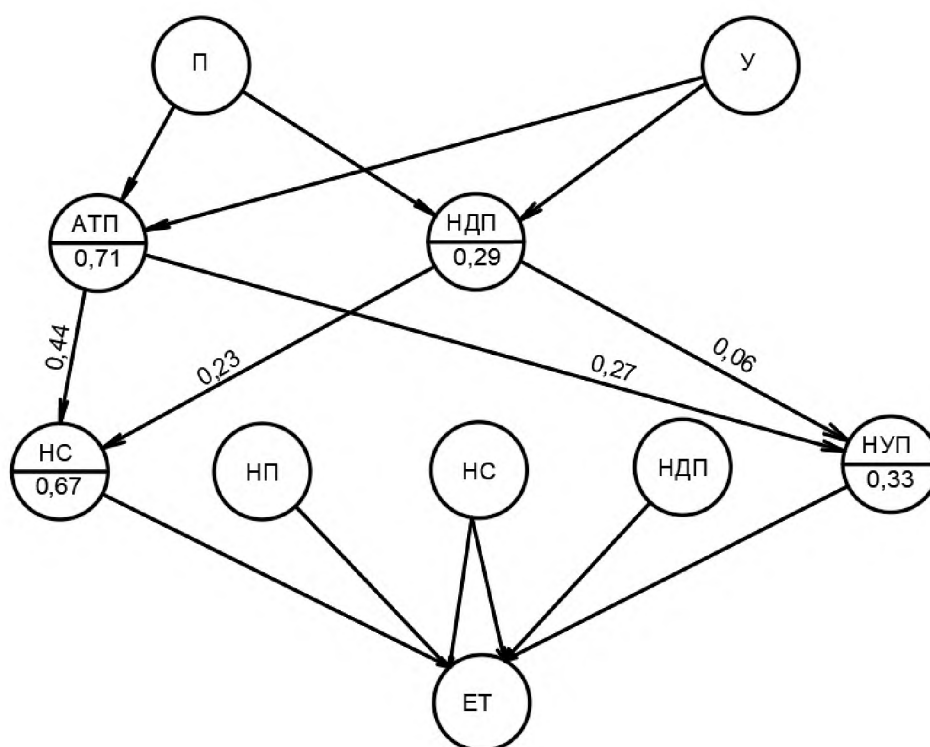


Рисунок 2.9 – Модель генезису аварійних ситуацій у підземних виробках копалень чорної металургії

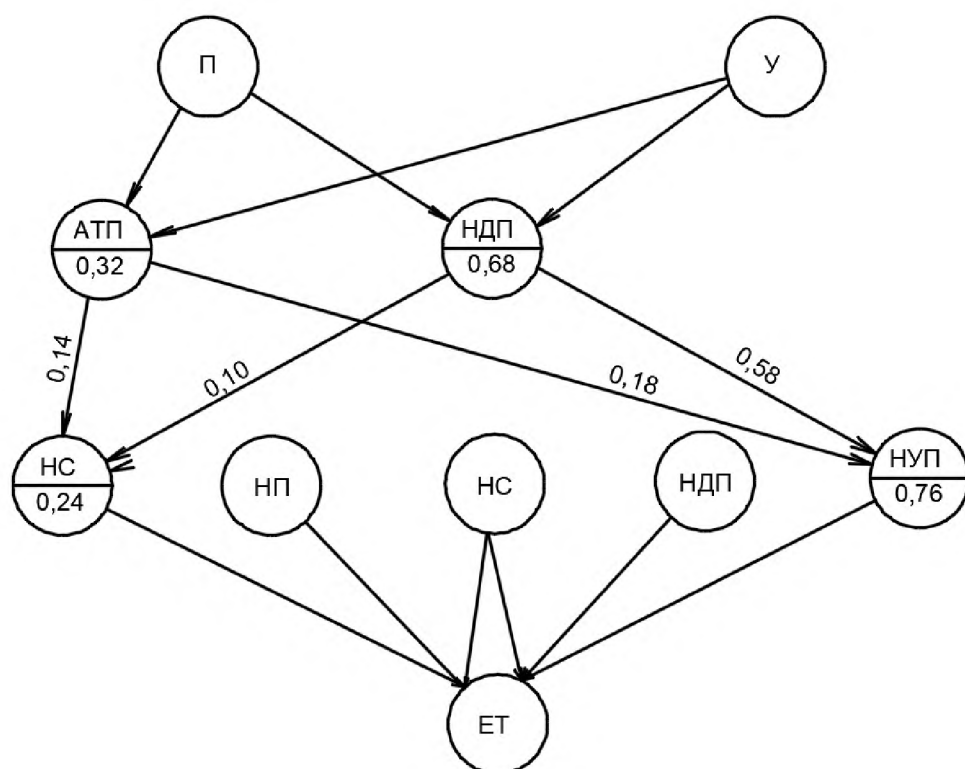


Рисунок 2.10 – Модель генезису аварійних ситуацій у підземних виробках копалинь чорної металургії

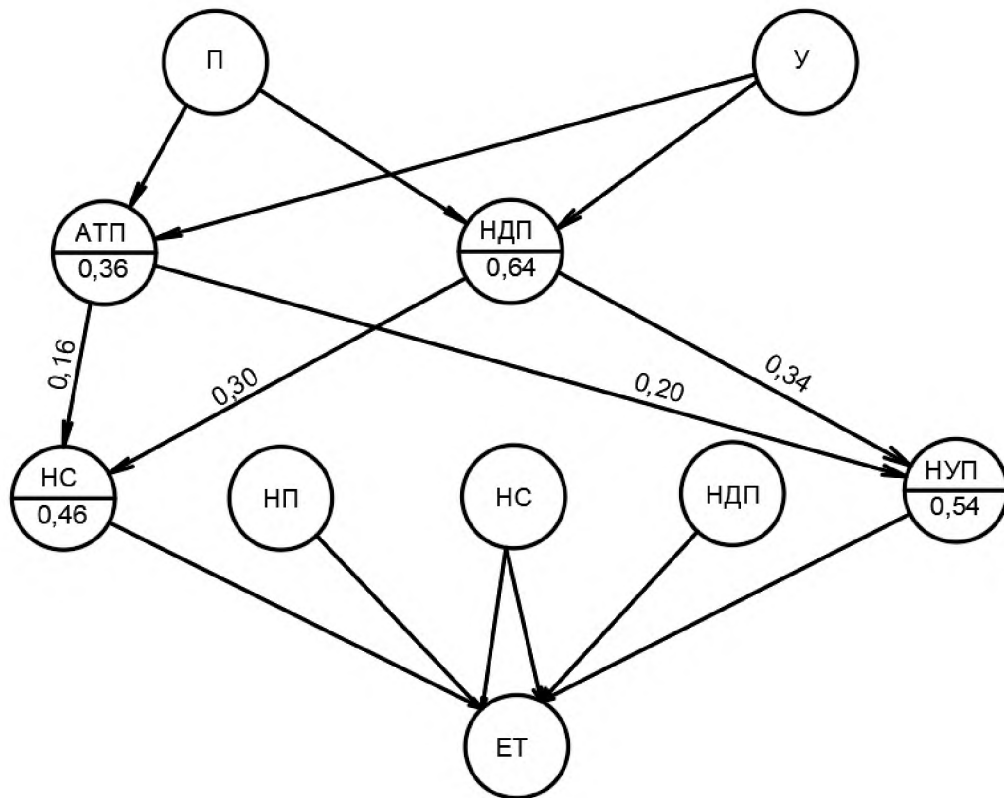


Рисунок 2.11 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках кар'єрів чорної металургії

Як показує аналіз моделей ГАС, на II-й стадії генезису аварійних ситуацій як джерело небезпек фігурують аварійність електроустановок (АТП) та неправильні дії персоналу (НДП) (статистичні ймовірності для всього періоду спостережень, відповідно, $P(\text{АТП})=0,32 \div 0,71$, $P(\text{НДП})=0,29 \div 0,68$).

Слід зазначити, що для умов рудників переважальною потенційною причиною н.в. (джерелом небезпеки) є аварійність електроустановок, тоді як для умов підземних виробок і поверхневих комплексів рудників, кар'єрів переважальним джерелом небезпеки є дії персоналу.

Для умов підземних виробок рудників велику роль на третій стадії розвитку електротравми в аварійних ситуаціях відіграє виникнення НС ($P(НС)=0,67$). Для умов поверхневих комплексів, кар'єрів — НУП (відповідно, $P(НУП)=0,76$, $P(НУП)=0,54$).

Міжрівневі переходи (зв'язки між подіями різних стадій процесу ГАС) показують:

- значну частку впливу АТП на виникнення НС і НУП в електроустановках підземних виробок рудників ($P(АТП \rightarrow НС)=0,44$, $P(АТП \rightarrow НУП)=0,27$);
- високу ймовірність виникнення НУП через НДП в електроустановках поверхневих комплексів рудників та збагачувальних фабрик ($P(НДП \rightarrow НУП)=0,58$);
- велику ймовірність виникнення НС та НУП через НДП в електроустановках кар'єрів ($P(НДП \rightarrow НС)=0,30$, $P(НДП \rightarrow НУП)=0,34$).

Динаміка характеристик моделей ГАС незначна (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 Статистичні можливості стану моделей ГАС для гірничорудних підприємств кольорової металургії

Рівні моделей ГАС	Стан моделюємого процесу	Ймовірність станів за періоди (роки)		
		2018-2020	2020-2022	2022-2024
1	2	3	4	5
Підземні вироблення рудників				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,44	0,33	0,39
	Неправильні дії персоналу	0,56	0,67	0,61
III-й	Небезпечна ситуація	0,55	0,34	0,44
	Небезпечні умови праці	0,45	0,66	0,56
Поверхневі комплекси рудників та збагачувальних фабрик				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,38	0,42	0,40
III-й	Неправильні дії персоналу	0,62	0,58	0,60
Кар'єри				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,25	0,26	0,25
	Неправильні дії персоналу	0,63	0,74	0,68
	Небезпечні природні явища	0,12	-	0,07
III-й	Небезпечна ситуація	0,72	0,57	0,65
	Небезпечні умови праці	0,28	0,43	0,36
Галузь				
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,31	0,35	0,33
	Неправильні дії персоналу	0,62	0,65	0,63
	Небезпечні природні явища	0,07	-	0,04
III-й	Небезпечна ситуація	0,64	0,58	0,62
	Небезпечні умови праці	0,36	0,42	0,38

Виконаний аналіз дозволяє обґрунтувати доцільність підготовки персоналу, навчання та освоєння ним навичок прийомів безпечного ведення робіт.

Гірничі підприємства з видобутку хімічної сировини.

Модель ГАС синтезована для підприємств галузі в цілому. У табл. 2.5 наведені значення характеристик моделі ГАС, графічний вигляд моделі — на рис. 2.12.

Таблиця 2.5 Статистичні можливості переходів моделі ГАС для підприємств вугільної промисловості

Межривневі переходи	Ймовірність переходів за періоди (роки)		
	2016-2016	2018-2022	2020-2022
I	2	3	4
	Підземні виробітки рудників		
АТП-ОС	0,11	0,11	0,11
АТП-ОУТ	0,33	0,22	0,28
НДП-ОС	0,44	0,44	0,28
НДП-ОУТ	0,12	0,44	0,28
	Поверхневі комплекси рудників та збагачувальних фабрик		
АТП-ОС	0,15	0,33	0,24
АТП-ОУТ	0,23	0,09	0,16
НДП-ОС	0,46	0,50	0,48
АТП-ОУТ	0,16	0,08	0,12
	Кар'єри		
АТП-ОС	0,12	0,13	0,12
АТП-ОУТ	0,14	0,13	0,13
НДП-ОС	0,49	0,44	0,45
НДП-ОУТ	0,14	0,30	0,23
ОПЯ-СС	0,12	-	0,07
	Галузь		
АТП-ОС	0,13	0,18	0,15
АТП-ОУТ	0,18	0,17	0,18
НДП-ОС	0,44	0,40	0,43
НДП-ОУТ	0,18	0,25	0,20
ОПЯ-СС	0,07	-	0,04

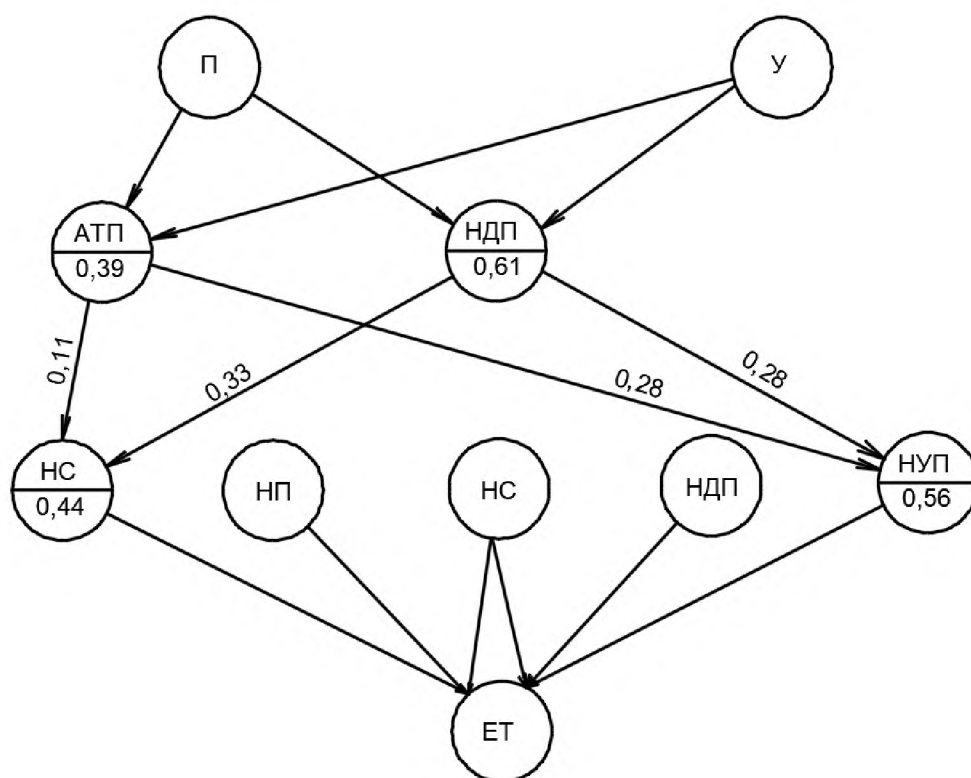


Рисунок 2.12 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках підземних виробок рудників кольорової металургії

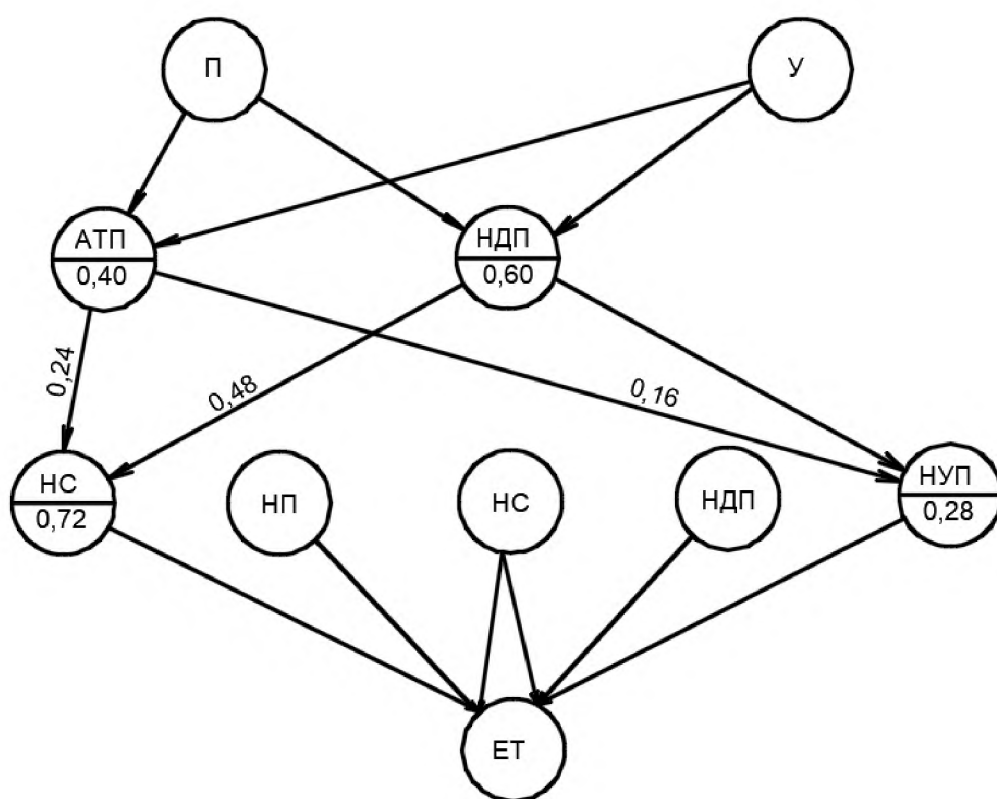


Рисунок 2.13 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках поверхневого комплексу рудників та збагачувальних фабрик кольорової металургії

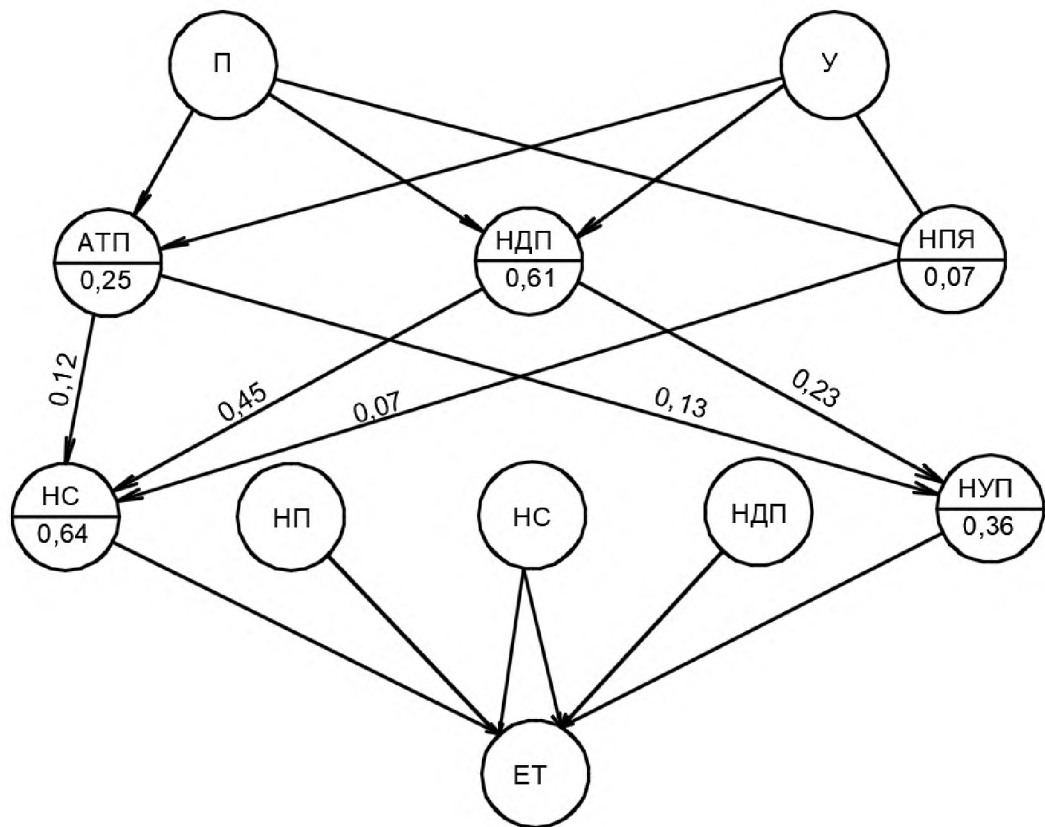


Рисунок 2.14 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках кар'єрів кольорової металургії

Аналізуючи значення характеристик моделей ГАС, можна відзначити значну вагу НДП як джерела небезпеки ($P(\text{НДП})=0,78 \div 0,83$). На III-й стадії процесу виникнення АС частка НС у виникненні н.в. превалює ($P(\text{НС})=0,60$).

Відзначені особливості генезису процесу електротравмування в аварійних ситуаціях зумовлюють гостру необхідність навчання персоналу методам ведення безпечних робіт в електроустановках, виховання у персоналу навичок безпечного виконання робіт, зокрема й при небезпечних умовах праці [5].

Гірничі підприємства з видобутку будматеріалів.

На підставі статистичних даних модель ГАС синтезована для галузі в цілому. Статистичні характеристики процесу виникнення АС наведені в табл. 2.6, 2.7. Потоковий граф моделі показаний на рис. 2.15.

Аналіз даних табл. 2.6, 2.7 показує, що модель ГАС характеризується в основному тими ж рисами, що й для підприємств з видобутку хімічної сировини. Відмінність полягає в тому, що при виникненні НС і НУП мають місце як причина небезпечні природні явища.

Динаміка статистичної частоти виникнення станів модельованого процесу характеризується наступним:

- для II-го рівня моделі — зниженням для АТП з 0,37 до 0,20, зростанням для НДП з 0,59 до 0,73;
- для III-го рівня моделі — зниженням для НС з 0,67 до 0,53, зростанням для НУП з 0,33 до 0,47.

Таблиця 2.6 Статистичні ймовірності виникнення станів моделі ГАС для гірничих підприємств з видобутку хімічної сировини

Рівні моделей	Стан моделюємого процесу	Ймовірність станів за періоди (роки)		
		2018-2020	2020-2022	2022-2024
1	2	3	4	5
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,22	0,17	0,24
	Неправильні дії персоналу	0,78	0,83	0,76
III-й	Небезпечна ситуація	0,61	0,55	0,60
	Небезпечні умови праці	0,39	0,45	0,40

Таблиця 2.7 Статистичні ймовірності переходів моделі ГАС для гірничих підприємств з видобутку хімічної сировини

Міжрівневі зв'язки	Характеристика зв'язків за періоди (роки)		
	2018-2020	2020-2022	2022-2024
АТП-ОС	0,17	0,17	0,17
АТП-ОУП	0,05	-	0,07
НДП-ОС	0,44	0,38	0,43
НДП-ОУТ	0,34	0,45	0,33

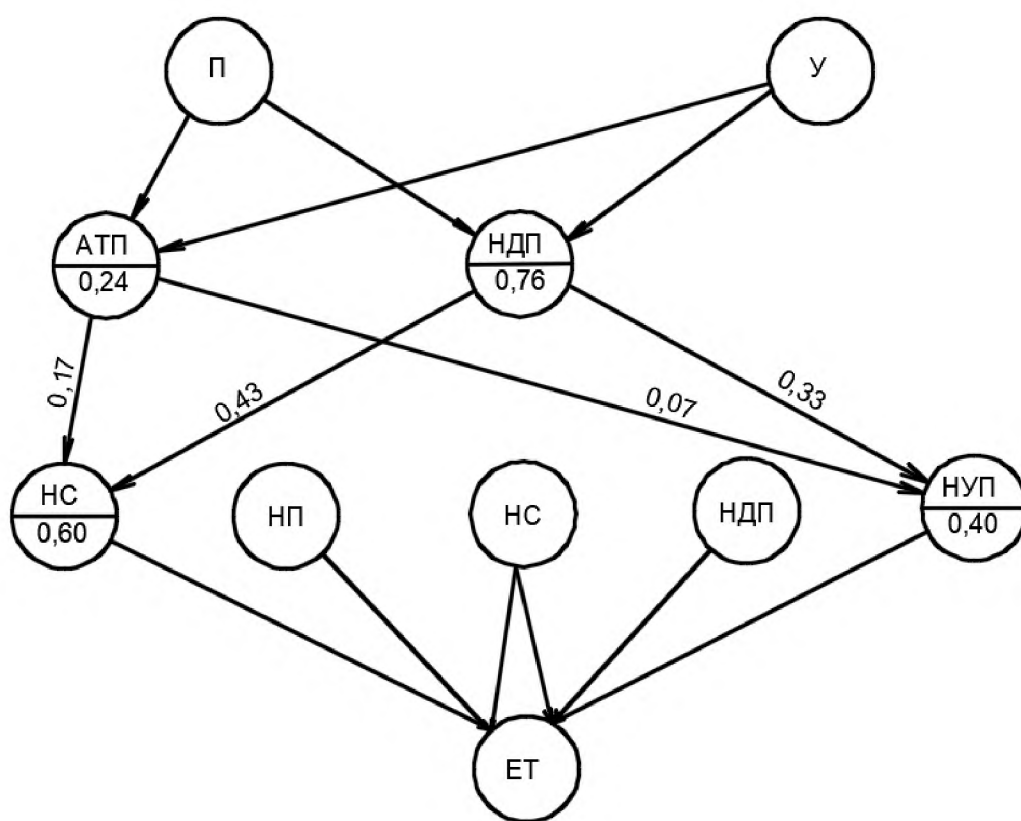


Рисунок 2.15 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках гірничих підприємств з видобутку хімічної сировини

Таблиця 2.8 Статистичні ймовірності виникнення станів моделі ГАС для гірничих підприємств з видобутку будматеріалів

Рівні моделей	Стан моделюемого процесу	Ймовірність станів за періоди (роки)		
		2018-2020	2020-2022	2022-2024
1	2	3	4	5
II-й	Аварійність технологічного обладнання	0,37	0,20	0,33
	Неправильні дії персоналу	0,59	0,73	0,62
	Небезпечні природні умови	0,04	0,07	0,05
III-й	Небезпечна ситуація	0,67	0,53	0,60
	Небезпечні умови праці	0,33	0,47	0,40

Таблиця 2.9 Статистичні ймовірності переходів моделі ГАС для гірничих підприємств з видобутку будматеріалів

Міжрівневі зв'язки	Характеристика зв'язків за періоди (роки)		
	2018-2020	2020-2022	2022-2024
АТП-ОС	0,29	0,12	0,23
АТП-ОУТ	0,08	0,08	0,10
НДП-ОС	0,37	0,33	0,34
НДП-ОУТ	0,22	0,39	0,28
НДП-ОС	0,01	0,08	0,03
НДП-ОУТ	0,03	-	0,02

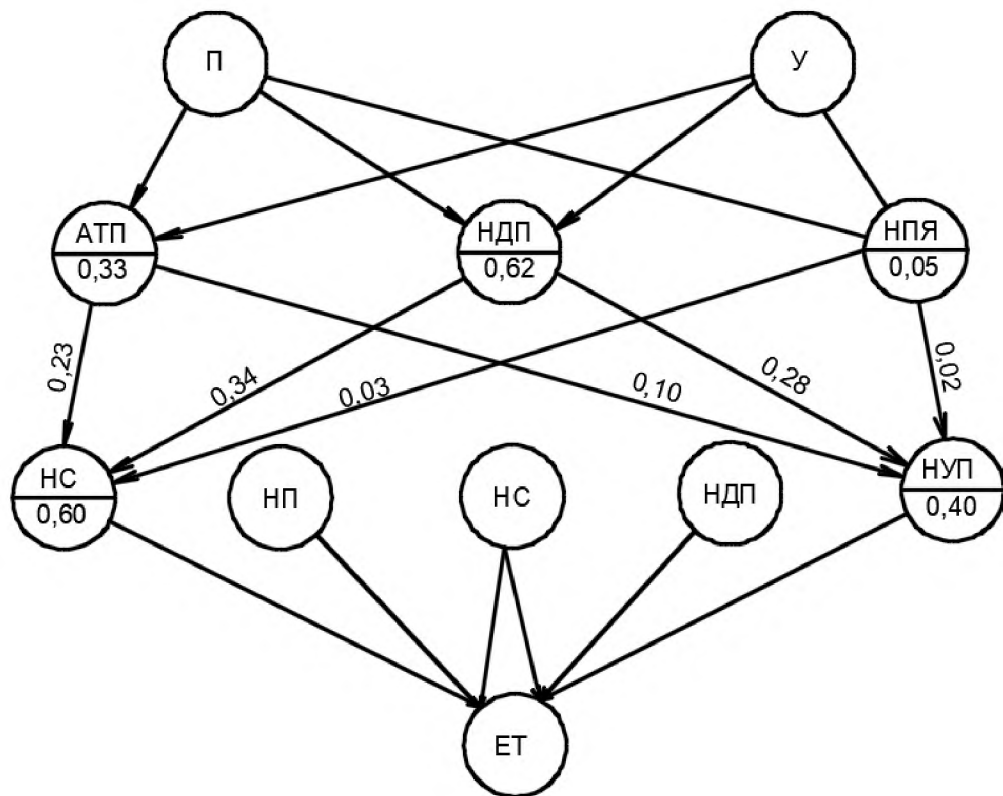


Рисунок 2.16 – Модель генезису аварійних ситуацій в електроустановках гірничих підприємств з видобутку будматеріалів

На підставі викладеного можна зробити висновок, що для зниження кількості АС необхідно, в першу чергу, підвищити надійність (правильність) дій персоналу, знизити аварійність в електроустановках.

Проведений причинний аналіз генезису аварійних ситуацій переконливо показує, що підвищення електробезпеки на гірничих підприємствах значною мірою залежить від зниження аварійності в електроустановках та від стану правильного функціонування персоналу. У зв'язку з цим доцільно виконати оцінку деяких характеристик персоналу як елемента ерготехнічної системи забезпечення електробезпеки.

Висновки

Для оцінки станів в ерготехнічній системі забезпечення електробезпеки в електротехнічних комплексах і системах гірничих підприємств як вихідні дані, що визначають умови, обставини та причини аварійних ситуацій, повинні бути використані результати дослідження виробничого електротравматизму при аварійних ситуаціях.

Разом з цим результати цього дослідження є базою для моделювання причинно-наслідкових зв'язків виникнення аварійних ситуацій та оцінки параметрів моделі їх генезису.

Забезпечення безпечної експлуатації електротехнічних комплексів і систем гірничих підприємств зумовлене станом функціональної надійності елементів ерготехнічної системи забезпечення електробезпеки.

Стан функціональної надійності цих елементів визначається процесами, що в них відбуваються, причому їхні оцінки є вихідною інформацією для прийняття управлінських рішень щодо забезпечення безпечного застосування електроенергії на гірничих підприємствах.

Список використаних джерел

1. Сінчук О.М., Рогоза М.В., Михайленко О.Ю., Кобеляцький Д.В., Федотов В.О. Евристичне керування споживанням електроенергії електроприймачами напругою до 1000 В гірничодобувних підприємств. Науковий Вісник Національного Гірничого Університету. 2024. №1. С. 84-91.
2. Güler, E., & Filik, Ü. B. Optimal Residential Load Control Comparison Using Linear Programming and Simulated Annealing For Energy Scheduling. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering. 2020. 21(1), Article 1. <https://doi.org/10.18038/estubtda.648767>.
3. Sinchuk O., Kobeliatskyi D. Model studies to identify input parameters of an algorithm controlling electric supply/consumption process by underground iron ore enterprises. Mining of Mineral Deposits. 2023. Vol. 17, Iss. 3. P. 86–93.
4. Касаткіна І.В., Бойко С.М., Жуков О.А. Інтелектуальні системи електропостачання. Навчальний посібник / 2023. – 151 с.
5. Kolahan, F., & Doughabadi, M. H.. The Effects of Parameter Settings on the Performance of Genetic Algorithm through Experimental Design and Statistical Analysis. Advanced Materials Research. 2012 433-440. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.433-440.5994>.
6. Olejnik B. Adaptive Zero-Sequence Overcurrent Criterion for Earth Fault Detection for Fault Current Passage Indicators in Resistor Grounded Medium Voltage Networks // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 63952–63965. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076022>

7. Le Xuan Thanh, Ho Viet Bun. Analyzing and identifying the limits of 660V grid parameters to ensure electrical safety in underground coal mines // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. No. 6. P. 101–106. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-6/101>
8. Common Mode Voltage Elimination in Variable Speed Drives for Improved Electrical Safety / G. Mirzaeva, D. Carter, S. M. M. Uddin, P. Stepien // *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2020. Vol. 56, Iss. 4. P. 4365–4374. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2992585>
9. Papaika Yu. A., Lysenko O. G., Bublikov A. V., Olishevskiy I. G. Reliability assessment of power supply systems with powerful nonlinear loads // *Electrical Engineering and Power Engineering*. 2020. No. 4. P. 38–49. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2020-4-3>
10. Do Nhu Y, Nguyen T. G., Ngo X. C., Nguyen T. K., Le A. T. Impact of power electronics devices on leakage current in mine electrical systems: a case study in Vietnam // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2025. No. 1. P. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-1/055>