

Во-первых, для исследования собственно оплавления жил он непригоден. Экспериментально установлено, что этот способ применять эффективно можно только в случаях, когда в окружающей среде на расстоянии не более 2 см от места обнаружения оплавленных жил имеются конструктивные неметаллические материалы.

При необходимости нештатный материал, выявленный в объекте «дефектов», можно установить методом рентгеноструктурного анализа или рентгеновской спектроскопии.

Предложенный способ решения экспертной задачи успешно реализован в судебно-экспертной деятельности СЭЦ ФПС по г. Москве.

В. О. Горбенко, старший науковий співробітник Харківського НДІСЕ,
В. О. Дмитрієв, старший науковий співробітник Харківського НДІСЕ,
С. В. Роголін, експерт Харківського НДІСЕ

МОЖЛИВОСТІ СУДОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ У ВСТАНОВЛЕННІ ОБСТАВИН ВІДХИЛЕННЯ ВІД НОРМ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПОРУШЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Розглянуто питання проведення судових електротехнічних експертиз із дослідження причин і наслідків відхилення параметрів електропостачання від норм якості електричної енергії. Наведено причини виникнення електромагнітної несумісності технічних засобів споживачів електричної енергії та її постачальників.

Рассмотрены вопросы проведения судебных электротехнических экспертиз по исследованию причин и последствий отклонений параметров электропитания от норм качества электрической энергии. Приведены причины возникновения электромагнитной несовместимости технических средств потребителей электрической энергии и ее поставщиков.

Важливими з точки зору споживачів електричної енергії параметрами електропостачання є надійність і якість. Вимоги до надійності електропостачання споживачів викладено в Правилах будови електроустановок, відомчих нормах проектування. Поняття якості електропостачання включає в першу чергу якість електричної енергії.

Якість електричної енергії як комплексний показник характеризується різними порушеннями та спотвореннями форми напруги

живлення, зміненнями її параметрів. Вони можуть виникати в енергосистемі, наприклад, грозові імпульси, комутаційні перенапруги, викликані комутацією ділянок електричної мережі, провали й відключення напруги під час роботи пристроїв автоматичного ввімкнення резерву та переключення споживачів на інші джерела живлення. У свою чергу якість електропостачання тісно пов'язана з властивостями самих електроприймачів впливати на якість і надійність роботи системи електропостачання: самі електроприймачі можуть уносити спотворення в електричну мережу (рис. 1).

Такими властивостями володіють електроприймачі з різкозмінним і нелінійним характером навантаження: статичні перетворювачі, промислові споживачі, електричний транспорт та ін. Подібні властивості електроприймачів характеризують їхню електромагнітну сумісність (ЕМС) – здатність технічних засобів функціонувати із заданою якістю в певній електромагнітній обстановці й не створювати неприпустимих електромагнітних перешкод іншим технічним засобам.

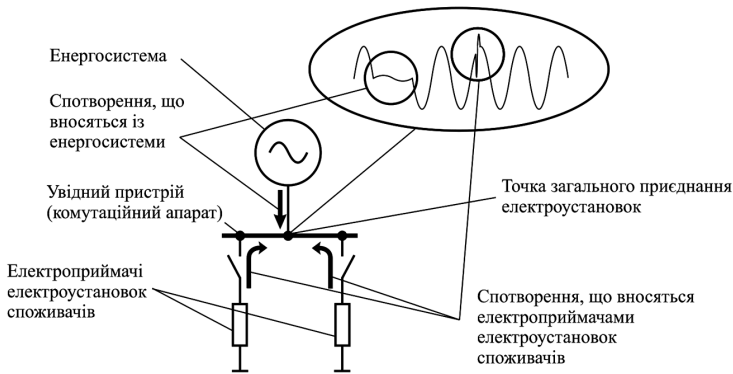


Рис. 1. Джерела спотворення напруги, що впливають на якість електричної енергії

Якість електричної енергії впливає на працездатність і ефективність функціонування електроприймачів. З точки зору інфокомунікаційних систем якість електричної енергії слід розглядати як дію кондуктивних перешкод (електромагнітних перешкод, що поширюються елементами електричної мережі) на устаткування. При цьому, якщо рівень перешкод (показників якості електроенергії) не перевищує норм, які встановлюються стандартом, устаткування функціонує справно та порушень (збоїв, зниження ефективності) в інфокомунікаційних системах немає.

Якість електричної енергії (якість напруги) в Україні нормується міждержавним стандартом ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия».

Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». За його визначенням, система електропостачання загального призначення – це сукупність електроустановок і електричних пристроїв енергопостачальної організації, призначених для забезпечення електричною енергією різних споживачів (приймачів електричної енергії).

Стандарт установлює показники й норми якості електричної енергії в електричних мережах систем електропостачання загального призначення змінного трифазного та однофазного струмів частотою 50 Гц у точках загального приєднання (рис. 1). За визначенням ГОСТ 13109-97 – це точка електричної мережі загального призначення, електрично найближча до мереж даного споживача електричної енергії (вхідних пристроїв даного приймача електричної енергії), до якої приєднані або можуть бути приєднані електричні мережі інших споживачів (вхідні пристрої інших приймачів). Норми якості електричної енергії характеризуються граничними рівнями електромагнітної сумісності для кондуктивних електромагнітних перешкод у системах електропостачання загального призначення. При дотриманні зазначених норм забезпечується електромагнітна сумісність електричних мереж систем електропостачання загального призначення й електричних мереж споживачів електричної енергії та не виникає таких порушень і перешкод у роботі обладнання, які б були пов'язані з неналежною якістю електричної енергії.

Норми якості електричної енергії підлягають включенню в технічні умови на приєднання споживачів електричної енергії та в договори на користування електричною енергією між енергопостачальними організаціями і споживачами електричної енергії. Ці норми застосовують при проектуванні систем електропостачання для обрання технічних заходів щодо забезпечення належної якості електроенергії. При експлуатації систем електропостачання та електроустановок споживачів показники якості підлягають інструментальному контролю для виявлення випадків порушення вимог стандарту й установлення джерел спотворень напруги.

Стандартом встановлено нормально та гранично допустимі значення показників якості електричної енергії. Показниками якості електроенергії є наведені нижче параметри.

1. *Відхилення напруги.* Відхилення напруги δU_y (рис. 2) характеризується показником сталого відхилення напруги, для якої визначено нормально та гранично допустимі значення сталого відхилення напруги δU_y на виводах приймачів електричної енергії на рівні відповідно ± 5 і ± 10 % від номінальної напруги електричної мережі. У подальшому для зручності повна назва аварійного процесу, що відбувається за умов існування ста- ну електричної мережі з рівнем напруги $\delta U_y > 1,1\sqrt{2} U_{ном}$ скоро

чується до терміна «перенапруга», а при $\delta U_y < 0,9\sqrt{2} U_{ном}$ – «провал напруги» (рис. 3).



Рис. 2. Стає відхилення та коливання напруги

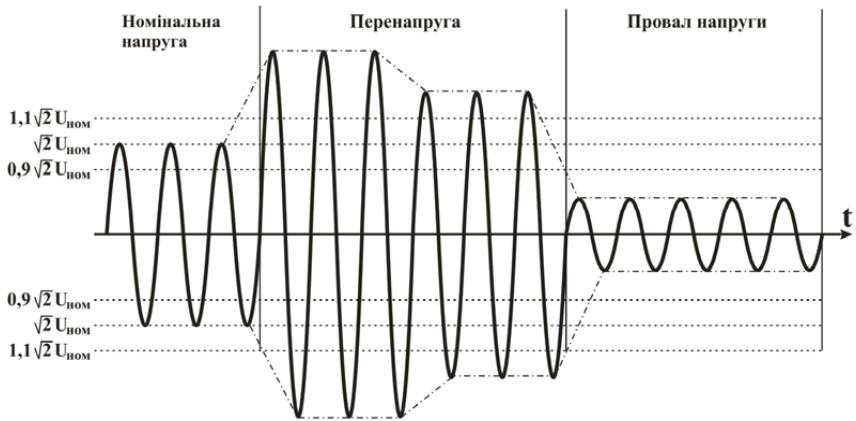


Рис. 3. Перенапруга та провал напруги

2. *Колівання напруги.* Колівання напруги (рис. 2) характеризуються такими показниками:

- розмахом змінень напруги δU_r ;
- дозою флікера P_f – мірою сприйнятливості людини до дії флікера (суб'єктивне сприйняття людиною коливань світлового потоку штучного освітлення, викликаних коливаннями напруги) за встановлений проміжок часу.

Гранично допустимі значення розмаху змінень напруги δU_r мають досить складну функціональну залежність від частоти повторення й форми лінії, що огинає криву миттєвих значень напруги. Ці залежності наводяться в ГОСТ 13109-97.

Для інфокомунікаційних систем значущими показниками якості електричної енергії є коливання напруги, оскільки саме вони впливають на устаткування. Доза флікера є похідною величиною від коливань напруги. Методики розрахунку та гранично допустимі значення дози флікера наведено в ГОСТ 13109-97. Граничне допустиме значення суми сталого відхилення напруги δU_y і розмаху змінень напруги δU_t в точках приєднання до електричних мереж напругою 0,38 кВ дорівнює $\pm 10\%$ від номінальної напруги.

3. *Несинусоїдальність напруги.* Несинусоїдальність напруги (рис. 4) характеризується такими показниками:

- коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги K_u ;
- коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги $K_u(n)$.

Нормально допустимі та гранично допустимі значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги мають бути не більше 8% у точках загального приєднання до електричних мереж із номінальною напругою 0,38 кВ і для мереж 6–20 кВ – не більше 5%.

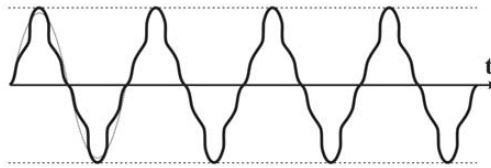


Рис. 4. Несинусоїдальність напруги

4. *Несиметрія напруги.* Найбільш поширеними джерелами несиметрії напруги в трифазних системах електропостачання є такі споживачі електроенергії, для яких симетричне багатofазне виконання або неможливо, або недоцільно з техніко-економічних міркувань. До таких установок належать індукційні й дугові електричні печі, тягові навантаження залізниць, виконані на змінному струмі, електрозварювальні агрегати, спеціальні однофазні навантаження, освітлювальні установки.

Несиметричні режими напруги в електричних мережах мають місце також в аварійних ситуаціях – при обриві фази або несиметричних коротких замиканнях. Несиметрія напруги характеризується наявністю в трифазній електричній мережі зворотної або нульової послідовностей, значно менших за величиною відповідних складових напруги прямої (основної) послідовності. Несиметрія напруги характеризується такими показниками:

— коефіцієнтом несиметрії напруги за зворотною послідовністю, %:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} 100$$

де $U_{2(1)}$ – діюче значення напруги зворотної послідовності основ-

ної частоти трифазної системи напруги, B ; $U_{I(1)}$ – діюче значення напруги прямої послідовності основної частоти трифазної системи напруги, B ;

— коефіцієнтом несиметрії напруги за нульовою послідовністю, % :

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{I(1)}} 100$$

де $U_{0(1)}$ – діюче значення напруги нульової послідовності основної частоти трифазної системи напруги, B .

Нормально допустиме і гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруги за зворотною послідовністю та нормовані значення коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю в точці загального приєднання до чотирипровідних електричних мереж з номінальною напругою 0,38 кВ дорівнюють 2,0 і 4,0 % .

5. *Відхилення частоти.* Відхилення частоти – різниця між дійсним і номінальним значеннями частоти, Гц:

$\Delta f = f - f_{ном}$ або у відсотках від номінального значення

$$\Delta f = \frac{f - f_{ном}}{f_{ном}} 100$$

Стандартом установлюються нормально та гранично допустимі значення відхилення частоти на рівні $\pm 0,2$ і $\pm 0,4$ Гц відповідно.

6. *Провал напруги.* Це раптове значне змінення напруги в точці електричної мережі нижче за рівень $0,9\sqrt{2} U_{ном}$, за яким слідує її відновлення до первинного або близького до нього рівня через проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Характеристиками провалу напруги є його тривалість Δt_n і глибина провалу напруги – різниця між номінальним і мінімальним значеннями напруги, що діє, яка виражається в одиницях напруги: $\delta U_n = U_{ном} - U_{мін}$ або у відсотках від номінального значення .

$$\delta U_n = \frac{U_{ном} - U_{мін}}{U_{ном}} 100$$

Граничне допустиме значення тривалості провалу напруги в електричних мережах напругою до 20 кВ включно дорівнює 30 с. Тривалість провалу напруги, що автоматично усувається, у будь-якій точці приєднання до електричних мереж визначається витримками часу релейного захисту й автоматики.

7. *Імпульс напруги та тимчасова перенапруга.* Спотворення форми кривої напруги живлення може виникати внаслідок появи високочастотних імпульсів при комутаціях у мережі, роботі розрядників та ін. Імпульс напруги – це різке змінення напруги в точці електричної мережі, за яким слідує відновлення напруги до первинного або близького до нього рівня. Величина спотворення напруги при цьому характеризується показником імпульсної напруги, який виражається у відносних одиницях:

$$\delta U_{\text{имп}} = \frac{U_{\text{имп}}}{\sqrt{2}U_{\text{ном}}},$$

де $U_{\text{имп}}$ – значення імпульсної напруги.

Показник імпульсної напруги стандартом не нормується.

Тимчасова перенапруга – підвищення напруги в точці електричної мережі вище $1,1\sqrt{2}U_{\text{ном}}$ тривалістю більше 10 мс, що виникає в системах електропостачання при комутаціях або коротких замиканнях. Тимчасова перенапруга характеризується коефіцієнтом тимчасової перенапруги – величиною, що дорівнює відношенню максимального значення обвідної лінії амплітудних значень напруги за час існування тимчасового перенапруження до амплітуди номінальної напруги мережі:

$$K_{\text{пер}U} = \frac{U_{\text{аMax}}}{\sqrt{2}U_{\text{ном}}}.$$

Коефіцієнт тимчасової перенапруги стандартом також не нормується. Значення коефіцієнта тимчасової перенапруги в точках приєднання електричної мережі загального призначення залежно від тривалості тимчасових перенапруг не повинні перевищувати значень у відносних одиницях, наведених у таблиці.

Таблиця

Нормовані значення коефіцієнта тимчасової перенапруги залежно від її тривалості

Тривалість тимчасових перенапруг, с	до 1	до 20	до 60
Коефіцієнт тимчасової перенапруги, в. о.	1,47	1,31	1,15

Змінення параметрів електричної мережі, потужності та характеру навантаження в часі, у тому числі під час протікання аварійних режимів, є основною причиною змінення показників якості електричної енергії. Таким чином, показники якості електричної енергії – сталі відхилення напруги, коефіцієнти, що характеризують несинусоїдальність і несиметрію напруги, відхилення частоти, розмах змінень напруги та ін. – величини випадкові і їхнє вимірювання й оброблення повинні базуватися на ймовірносно-статистичних методах. Тому, як уже зазначалося, у стандарті встановлюються норми показників якості електричної енергії й зумовлюється необхідність їхнього виконання протягом 95 % часу кожної доби (для нормально допустимих значень).

У Харківському НДІСЕ за останні роки збільшилася кількість експертів, завданнями яких є дослідження обставин виходу з ладу електрообладнання, пошкодження побутових приладів, пожеж та ін., що сталися через відхилення якості електричної енергії від норм. У подібних справах містяться фактичні дані, які прямо чи опосередковано вказують на те, що небажані для споживачів елект-

ричної енергії явища, як правило, супроводжувалися відхиленням напруги від нормативних величин.

Відхилення норм якості електроенергії у вигляді перенапруги та провалу напруги відбувається одночасно, на одній і тій самій ділянці лінії електропередачі, але на різних фазах. Разом з цим слід зазначити, що в переважній більшості випадків експертне завдання ставиться стосовно встановлення явищ і обставин саме перенапруги, а не провалу напруги. Це зумовлено більш вираженим негативним впливом на побутові електроприймачі дії перенапруги.

Визначення переліку та послідовності етапів виконання дослідження обставин виникнення відхилення від норм якості електроенергії в точці загального приєднання в мережі 0,38 / 0,22 кВ та ідентифікації досліджуваного явища за виявленими суттєвими ознаками як явище перенапруги і (або) провалу напруги здійснюються в програмі конкретного дослідження, яка в більшості випадків має бути спрямована на висування, дослідження й обґрунтування однієї або декількох версій про причину виникнення відхилення того чи іншого показника (показників) якості електроенергії від його нормованого значення. Виходячи з того, що причинами перенапруги різної тривалості та рівня в електричних трифазних чотирипровідних мережах можуть бути:

- комутаційні перемикання мережі, що здійснюються до силових трансформаторів, від яких живляться ці мережі, і на трансформаторах;
- утрата цілісності нульового робочого провідника в мережі 0,38/0,22 кВ;
- віддалене коротке однофазне замикання в мережі 0,38/0,22 кВ;
- нерівномірне (несиметричне) навантаження за фазами в трифазно-однофазній мережі;
- некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу під час виконання ремонтних, електромонтажних робіт чи несанкціонованих дій сторонніх осіб, унаслідок чого сталася втрата надійного контакту нульового проводу з щитом (нульовою клемною колодкою) або лінійне чи фазне коротке замикання, програма дослідження повинна базуватися на таких складниках.

1. Установлення фактичного режиму електричного живлення досліджуваної та інших електроустановок у точці загального приєднання: трипровідне трифазне, чотирипровідне трифазне чи двопровідне однофазне живлення. Позаштатна або аварійна робота деяких із трифазних електроприймачів у разі, коли в усіх електроустановках, приєднаних до цієї електричної мережі, експлуатуються тільки трифазні струмоприймачі та відсутні однофазні, є недостатньою умовою існування перенапруги та (або) провалу напруги.

2. Установлення факту одночасного існування обох явищ – перенапруги на одних і провалу напруги на інших фазах окремо взятої ділянки, від якої живляться електроприймачі досліджуваної та суміжних електроустановок.

3. Складання окремих переліків електроприладів за їхньою належністю до відповідних фаз досліджуваної й суміжних електроустановок з позначенням тих із них, які функціонували на момент виникнення перенапруги та (або) провалу напруги в робочому режимі, перебували в режимі «очікування», а також тих, що приєднувалися до електричної мережі, але були вимкнуті та не споживали електричну енергію.

4. Проведення класифікації електроприймачів за характерними ознаками аварійних режимів перевантаження та (або) коротких замикань досліджуваної й суміжної електроустановок; за ознаками електричних, термічних і механічних пошкоджень. Оскільки дія перенапруги на певні електроприймачі має дещо різний механізм, то й ознаки дії перенапруги на ці електроприймачі відрізнятимуться: на деяких матимуть місце ознаки термічного пробоя ізоляції, що у свою чергу стає причиною короткого замикання, в інших – вихід з ладу силових елементів блоків живлення електроприладів і спрацювання власних пристроїв електричного захисту (як правило, запобіжників), або виникнення пожежі в електроустановці, де осередок пожежі просторово збігається зі знищеним електротехнічним виробом. У деяких випадках перенапруга або провал напруги викликає значні відхилення в технологічних процесах, створює небезпечні виробничі чинники. Ретельний аналіз ознак пошкодження кожного електротехнічного виробу, проведення класифікації пошкоджень за суттєвими ознаками мають велике значення для створення інформаційної моделі виникнення аварійної ситуації та її розвитку в аварійний режим в електричній мережі. Важливим чинником для правильного експертного оцінювання при проведенні класифікації характерних ознак впливу явищ перенапруги та провалу напруги є наявність в матеріалах справи даних про наявність дефектів у виробках на першому етапі відновлювальних робіт в електроустановці й під час ремонту побутової техніки в сервісних центрах. У разі необхідності та за певних умов вид пошкодження може встановлюватися експертом у ході натурних або лабораторних досліджень вузлів, деталей, фрагментів та ін.

Ознаками існування явища перенапруги для елементів електроустановок є:

— спрацювання апаратів захисту електроустановки, у тому числі:

1) реле максимальної та мінімальної напруги (пристроїв електричного захисту типу «Бар'єр»), які мають певні значення вставок;

2) пристроїв електричного захисту електроустановки від струмів короткого замикання та перевантаження (автоматичних вимикачів, запобіжників), які мають певного типу розчіплювачі та певні значення вставок;

— специфічні локальні оплавлення ізоляції струмовідних жил електроприймачів, які на час досліджуваної події працювали;

— короткі замикання (КЗ) струмовідних жил електроприладів досліджуваної електроустановки, які стали результатом розвитку попередньої ситуації.

Характерними ознаками існування та впливу явища провалу напруги в електроустановках, їхніх елементах є:

— вихід з ладу (отримання термічних пошкоджень) у режимі пуску трифазних і однофазних асинхронних електричних двигунів електроприладів (неможливість розвертання зазначених двигунів) або спрацювання при пуску апаратів захисту цих двигунів від надмірного струму;

— вихід з ладу (отримання термічних пошкоджень) трифазних і однофазних електричних двигунів електроприладів, електромагнітних муфт, гальм та виконавчих електромагнітів електроприладів під час їхнього навантаження номінальним моментом або неможливість розвинення зазначеними електроприладами потрібного моменту через спрацювання апаратів захисту цих електроприладів від надмірного струму;

— зниження світлової віддачі ламп розжарювання;

— згасання або неспроможність до запалювання (початку електричного розряду) газонаповнених розрядних ламп для випадків значних провалів напруги.

Ознаками існування явища перенапруги значної величини для елементів електроустановок є:

— термічні та механічні руйнування ламп розжарювання;

— термічні ознаки струмового перевантаження електричних двигунів;

— міжвиткові замикання обвиток електричних двигунів і трансформаторів;

— характерні ознаки пошкодження імпульсних блоків живлення електроприладів (термічні пошкодження напівпровідникових радіоелементів і руйнування електролітичних конденсаторів);

— термічні пошкодження варисторів мережевих фільтрів.

5. Установлення факту живлення електроустановок (досліджуваної та суміжних, їхніх електроприймачів) від тих фаз, де спостерігались явища перенапруги та (або) провалу напруги. Визначення проводиться на підставі наявних матеріалів справи, натурального дослідження об'єктів, показань очевидців протікання аварійного режиму та ін.

6. Аналіз виявлених ознак пошкоджень чи змінень характеру роботи електроприладів одного типу при їхній роботі в період аварійного режиму в електроустановках споживачів, приєднаних до точки загального приєднання, щодо встановлення факту їхньої подібності згідно з п. 4 та групування цих електроприладів за указаними в п. 4 ознаками та ознаками приєднання до однієї й тієї самої фази живлення.

7. Визначення часу виходу з ладу, пошкодження чи змінень характеру роботи та співвідношення цього часу з часом роботи електроустановки в аварійному режимі.

8. Установлення характеру й послідовності дій електротехнічного персоналу, що виконував роботи в електроустановці, чи несанкціонованих дій сторонніх осіб до моменту виникнення аварійного режиму та механізму виникнення явищ перенапруги/провалу напруги.

9. Установлення характеру й послідовності дій електротехнічного персоналу, що виконував роботи в електроустановці, чи несанкціонованих дій сторонніх осіб під час протікання аварійного режиму та механізму розвитку явищ перенапруги/провалу напруги.

10. Установлення характеру й послідовності дій електротехнічного персоналу, що виконував роботи в електроустановці, чи несанкціонованих дій сторонніх осіб, пов'язаних з локалізацією та ліквідацією аварійного режиму.

11. Установлення ступеня рівномірності пофазного навантаження ділянки електричної мережі в точці загального приєднання.

12. Математичне моделювання роботи мережі в режимі нормальної роботи й режимі перенапруги/провалу напруги та інформаційне моделювання обставин досліджуваної події.

13. Установлення причинно-наслідкового зв'язку між діями (бездіяльністю) певних осіб і виникненням режиму перенапруги/провалу напруги.

Запропонований перелік і послідовність етапів виконання дослідження обставин виникнення та наслідків відхилення якості електроенергії в точці загального приєднання від норм є орієнтовними, у кожному конкретному випадку вони уточнюються, виходячи з експертного завдання, об'єктів дослідження, наявності вихідних даних та ін.

Експертна практика Харківського НДІСЕ із дослідження обставин відхилення від норм якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення та порушення в такий спосіб електромагнітної сумісності технічних засобів свідчить про перспективність цього напрямку експертної роботи. На сьогодні розроблюються конкретні методики досліджень причин і наслідків перенапруг у системах електропостачання загального призначення, триває робота з методичного забезпечення досліджень обставин інших виявів відхилення якості електричної енергії від нормованих параметрів.