

*Михайло Костюченко*

**Методика викладання попереджувальних заходів електробезпеки на уроках профільного технологічного навчання**



*Стаття розкриває деякі аспекти методики викладання елементів електробезпеки на уроках профільного технологічного навчання. Розглядаються заходи і засоби від ураження електричним струмом. Наводяться принципові схеми блоку сигналізації та блоку захисту, які може використовувати вчитель трудового (профільного) навчання на уроках в демонстраційних цілях.*

**Ключові слова:** електричний струм, електротравматизм, електробезпека, електрозахисні заходи, електрозахисні засоби, викладання.

Електротравматизм – хворе місце сучасної цивілізації так, як він не убуває. Це пов'язано з тим, що крім насичення виробництва електричними машинами, електрообладнанням, електронікою й електрифікованими інструментами, спостерігається істотна електрифікація сфери обслуговування та побуту. Парадокс сучасної фази науково-технічної революції полягає у тому, що нова техніка і технологія, яка покликана захищати людину від важкої, шкідливої та небезпечної праці, разом з тим одночасно створює додаткові шкідливості та небезпеки. Як показують статистично-аналітичні дослідження [1;3], хоча в останнє десятиріччя рівень виробничого травматизму має тенденцію до зниження, проте серед всіх нещасних випадків на виробництві зі смертельними наслідками 6,5% припадає на ураження електричним струмом. Особливо тривожна статистика підліткового і дитячого електротравматизму, який складає поза приміщень 52%, а в побуті – 16% від всіх невиробничих електротравм серед населення. У зв'язку з цим, виникає суперечність між необхідністю практичного зменшення числа електротравм серед учнів загальноосвітніх навчальних закладів і недостатньою розробленістю методики викладання попереджувальних заходів електробезпеки на уроках профільного технологічного навчання.

Досвід викладацької діяльності автора у загальноосвітній школі показує, що на уроках профільного технологічного навчання належить більше уваги приділяти питанням електробезпеки. Роз'яснення учням заходів і засобів від ураження електричним струмом є актуальним завданням профільного технологічного навчання.

Нами випробувана й експериментально підтверджена така послідовність ефективного та результативного викладу змістовних питань електробезпеки.

Спочатку розглядаються основні стандартизовані терміни і визначення з електробезпеки [7]. Аналізуються три види електротравм: місцеві, загальні та змішані. Потім розглядається фізична суть напруги дотику і напруги кроку – двох основних умов ураження людини електричним струмом. Відзначаємо, що напруга дотику і сила змінного струму частоти 50 Гц, що протікає через тіло людини при **нормальному (неаварійному) режимі** функціонування електроустановки, не повинні перевищувати відповідно 2 В і 0,3 мА, тобто  $U \leq 2 \text{ В}$ ,  $I \leq 0,3 \text{ мА}$  [2].

Учбові приміщення, в яких проводиться трудове та профільне навчання, використовують чотирипровідну трифазну мережу змінного струму стандартної частоти 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю вторинної обмотки трансформатора або однофазну мережу з глухозаземленим вводом. У вказаних мережах при дотику людини до фазного проводу або до металевого корпусу пошкодженої електроустановки створюється замкнений контур, який є однією із умов проходження електричного струму, що може спричинити небезпеку ураження.

Звертаємо увагу учнів на те, що гранично допустимі значення величин напруги дотику і струму при **аварійному режимі** функціонування електроустановок напругою до 1000В з глухозаземленою або ізольованою нейтраллю вище, ніж при нормальному режимі. Вони складають для виробничих електроустановок при проміжку часу дії  $\Delta t$  понад 1с ( $\Delta t > 1\text{с}$ ) відповідно 20 В, 6 мА (ці значення відповідають відпускаючим струмам), а для побутових електроустановок відповідно 12 В, 2 мА [2]. Зазначимо, що аварійний режим усувається автоматичними пристроями за короткий час, що зменшує вірогідність збігу двох випадковостей –

дотику людини до корпусу електроустановки й аварії останньої. Разом з тим, встановлені випадки смертельних уражень людини електричним струмом при напрузі 12 В промислової частоти в умовах приміщень з підвищеною небезпекою або в особливо небезпечних.

У вітчизняній і зарубіжній практиці зафіксований великий статистичний матеріал виробничого, освітнього і побутового електротравматизму. До **причин електротравматизму** переважно відносяться такі: порушення трудової, виробничої, навчальної та побутової дисципліни, незадовільний технічний стан електроустановок, монотонність праці чи процесу трудового (виробничого) навчання, порушення правил технічної експлуатації електрообладнання й електроінструментів, порушення інструкцій з охорони праці та безпеки життєдіяльності, стресові ситуації, стомлення чи хворобливий стан людини тощо.

Відповідно до цього, при плануванні дидактичної структури уроку профільного технологічного навчання вчителю рекомендується сформулювати зміст мотиваційної, орієнтаційної, виконавчої й оціночної основ дій, а у процесі проведення уроку навчати учнів способам попередження й усунення можливих їх порушень. Після пояснення та показу раціональних прийомів і способів виконання завдання вчителю рекомендується звернути увагу учнів на такі **можливі порушення**:

а) **мотиваційної основи дій** – неухвалене відношення учнів до пояснення вчителем нового навчального матеріалу, їх небажання запам'ятовувати навчальну інформацію та ретельно виконувати визначені трудові прийоми й операції, негативне відношення учнів до вимог безпечного виконання робіт тощо;

б) **орієнтаційної основи дій** – прийомів прогресивного, безпечного і нешкідливого виконання трудових дій (навчання технологічній або виробничій дисципліні, правилам будови та безпечної експлуатації електрообладнання та електричних машин, правилам охорони праці та передовим методам роботи);

в) **виконавчої основи дій**, що призводить до типових дефектів, браку та навчально-виробничим помилкам, у тому числі тих, що викликають травми;

г) *оціночної основи дій* – контроль й оцінювання учнем своєї власної діяльності по ходу та в кінці роботи.

Вчитель технологічного (трудового) навчання повинен висвітлити матеріал, пов'язаний з чинниками, які впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом. Очевидно, рівень викладання даного матеріалу повинен відповідати рівню сприйняття та розуміння учнів. Чинники, які впливають на тяжкість ураження електричним струмом можна поділити на три групи:

1) *чинники електричного характеру* (величина напруги дотику чи напруги кроку, сила струму, що проходить через тіло людини, рід і частота струму, електричний опір тіла людини);

2) *чинники неелектричного характеру* (шлях струму через тіло людини, тривалість дії струму, чинник уваги, індивідуальні особливості та стан організму людини, чинник раптовості дії струму);

3) *чинники виробничого (навколишнього) середовища* відповідно до Правил будови електроустановок (температура, вологість, запиленість і забруднення повітря, типи приміщень за чинниками середовища, категорії приміщень за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом).

Учні повинні знати, що ураження організму людини струмом силою  $I$  викликано прикладеною напругою  $U$  (напругою дотику чи напругою кроку), а тяжкість ураження (відповідно закону Ома  $I=U/Z$ ) залежить від опору людини  $Z$ , який має складний активно-ємнісний характер (електрична ємність тіла людини лежить в діапазоні  $C=100-200$  пФ). Ступінь ураження людини змінним електричним струмом  $i=I_m \cdot \sin \omega t$  визначається величиною поглиненої організмом електричної енергії  $Q$ , яка рівна роботі електричного струму  $\Delta A$ , тобто  $\Delta A=Q$ .

У першому наближенні будемо нехтувати впливом електричної ємності  $C$  та вважати, що загальний опір тіла людини  $Z$  рівний активному опору ( $Z \approx R$ ). Тоді за визначенням, робота електричного струму за проміжок часу  $\Delta t$  визначається за

формулою  $\Delta A=I \cdot U \cdot \Delta t$ , де  $I = \sqrt{(I/T) \int_0^T i^2 dt} = I_m / \sqrt{2}$  – дійсне значення сили змінного

струму,  $I_m$  – амплітудне значення сили змінного струму,  $T$  – період змінного струму,  $U = U_m / \sqrt{2}$  – дійсне значення напруги змінного струму,  $U_m$  – амплітудне значення напруги.

Якщо вважати, що  $\Delta A = \text{const}$ , то ступінь небезпеки ураження людини струмом не зміниться, якщо при збільшенні тривалості часу  $\Delta t$  протікання струму через тіло людини одночасно зменшується значення величин струму  $I$  та напруги дотику чи напруги кроку  $U$ . Ця обставина врахована при розробці ССБТ ГОСТ 12.1.038-82.

Разом з тим, результат ураження людини електричним струмом визначається не тільки взаємопов'язаними параметрами електричного кола (сила струму, напруга, електричний опір тіла людини, частота), але й залежить від великого числа об'єктивних і суб'єктивних чинників. До вказаних чинників відноситься:

- категорія приміщення за безпекою електротравм (без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою, особливо небезпечні);
- проміжок часу протікання струму  $\Delta t$ ;
- шлях струму через тіло людини (“петлі струму”);
- наявність активної  $R$  та реактивної  $X$  (ємкісної) складових електричного опору тіла людини  $Z = R + jX$ ,  $|Z| = Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ , де  $j$  – комплексне число,  $|X| = X = 1/(\omega C)$ ,  $\omega = 2\pi f$  – кутова швидкість,  $f$  – частота струму;
- складна залежність  $Z$  від прикладеної напруги  $U$  (зі збільшенням  $U$  зменшується  $Z$ );
- індивідуальні особливості людини;
- стан здоров'я людини тощо.

Вчитель повинен на конкретних прикладах, узятих з життя та публікацій, роз'яснити учням (шляхом розповіді або евристичної бесіди) можливі обставини ураження людини електричним струмом, а також *причини електротравм* (технічні, організаційно-технічні, організаційні, організаційно-соціальні та психофізіологічні). При цьому бажано заглибитися в механізм фізіологічної дії електрики на людину.

Результати наукових досліджень показують, що жива тканина має складну іонну, електронну й електронно-дірчасту електропровідність. При проходженні

струму через тіло людини шквали електронів обрушуються на мембрани нервових клітин, змінюючи або порушуючи електричну активність периферичної та центральної нервової систем. Унаслідок ураження центрів керування диханням, кровообігом й іншими системами життєзабезпечення порушується нормальне функціонування нервової та гомеостатичної систем автоматичного регулювання органами й організмом. Внаслідок чого можливе виникнення спазм дихання, фібриляції серцевого м'язу, шоку, летального результату [5].

Чітке уявлення небезпеки електричного струму дозволяє далі з'ясувати значення знань правил надання першої долікарської допомоги потерпілим. Завдання, що стоїть перед вчителем у тому, щоб учні набули знання можливих симптом ураження людини електричним струмом, а також уміння і навички надання першої долікарської допомоги.

Розглянуті вище питання лежать в основі подальшого вивчення систем технічних засобів електробезпеки, електрозахисних засобів (ізолювальних, огорожувальних, запобіжних), а також організаційних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації електротехнічних виробів. Висвітлення вказаних питань повинно здійснюватися популярно, на доступному учням рівні сприйняття навчальної інформації та закріплюватися конкретними прикладами.

Отримані учнями знання та вміння з питань електробезпеки дозволяють результативно проводити різні види інструктажів. Як відомо, *інструкція* фіксує заборонені дії людини з метою виключення помилок, які можуть призвести до травм на робочому місці, професійних отруєнь і профзахворювань. Необхідно звернути увагу на відміну змісту й умов проведення вступного інструктажу від інших видів інструктажів (первинного, повторного, позапланового, цільового) [4].

Для виконання навчальної програми учбова майстерня повинна бути обладнана верстатами, електрообладнанням, вимірювальними приладами, ручними інструментами, колективними й індивідуальними засобами захисту. Процес виконання учнями на уроках трудового навчання вправ, практичних і навчально-виробничих робіт повинен бути забезпечений *заходами безпеки*. З метою

підвищення рівня електробезпеки, як правило, застосовують недоступність струмопровідних частин, малі напруги, ізоляцію струмопровідних частин, блокування безпеки, ізолюючі площадки, захисне ізолювання робочого місця, занулення, захисне відключення, захисне розділення електричних мереж та засоби орієнтації в електроустановках (попереджувальні сигнали, попереджувальні знаки, плакати електробезпеки, маркування частин електрообладнання тощо).

Високу надійність та живучість мають такі технічні засоби електробезпеки, як *блокування безпеки, розділові трансформатори, пристрої захисного відключення (ПЗВ)*. Проте придбати вказане електрообладнання заводського виготовлення для навчального закладу нині матеріально скрутно. Рекомендуємо розроблені та впроваджені нами в навчальний процес два відносно прості пристрої сигналізації та захисту, принципальні схеми яких виконані з вимогами стандартів ЄСКД.

Схема *блоку сигналізації (НЛ)* містить такі елементи: реле напруги **KV** типу РН 53/400 (тривало допустима напруга  $U=220\text{В}$ , межі уставок реле 100–400В, напруга спрацьовування 100–200В); електролітичний конденсатор електроємністю  $C = 30\text{--}50 \text{ мкФ}$  ( $U_{\text{роб.}} \geq 350\text{В}$ ); резистори **R1, R2, R3, R4** типу МЛТ-2 ( $P_{\text{розс.}} = 2\text{Вт}$ ); напівпровідникові вентиляльні діоди **VD1** і **VD2** типу Д231; запобіжник плавкий **FU**; лампи розжарювання сигнальні **EL1, EL2** ( $U_{\text{ном.}} = 220 \text{ В}$ ,  $P_{\text{ном.}} = 25 \text{ Вт}$ ), які забарвлені у білий колір і підсвічують світлове табло “Напруга подана” (рис. 1).

Схема НЛ функціонує таким чином. При подачі напруги (220 В, 50 Гц) конденсатор **C** заряджається через діоди (**VD1, VD2**) і зарядні резистори (**R1, R2**). При підвищенні величини напруги на конденсаторі **C** до значення, яке перевищує напругу уставки реле, відбувається перемикання контактів. У результаті розмикається контакт **KV2** і гасне лампа **EL1**, а також розмикається коло заряду конденсатора **C** (розмикається контакт **KV1**), спалахує лампа **EL2** (замикається контакт **KV3**). Починається процес розряду конденсатора **C** через резистори **R3, R4** і котушку реле напруги **KV**. При зменшенні напруги до “напруги відпускання” реле **KV** перемикає свої контакти, внаслідок чого лампа **EL2** гасне, а лампа **EL1** спалахує. Знову починається процес заряду конденсатора **C** і надалі все

повторюється. Орієнтацію забезпечує мерехтіння ламп розжарювання (світлова сигналізація) і клацання спрацьовування реле (звукова сигналізація).

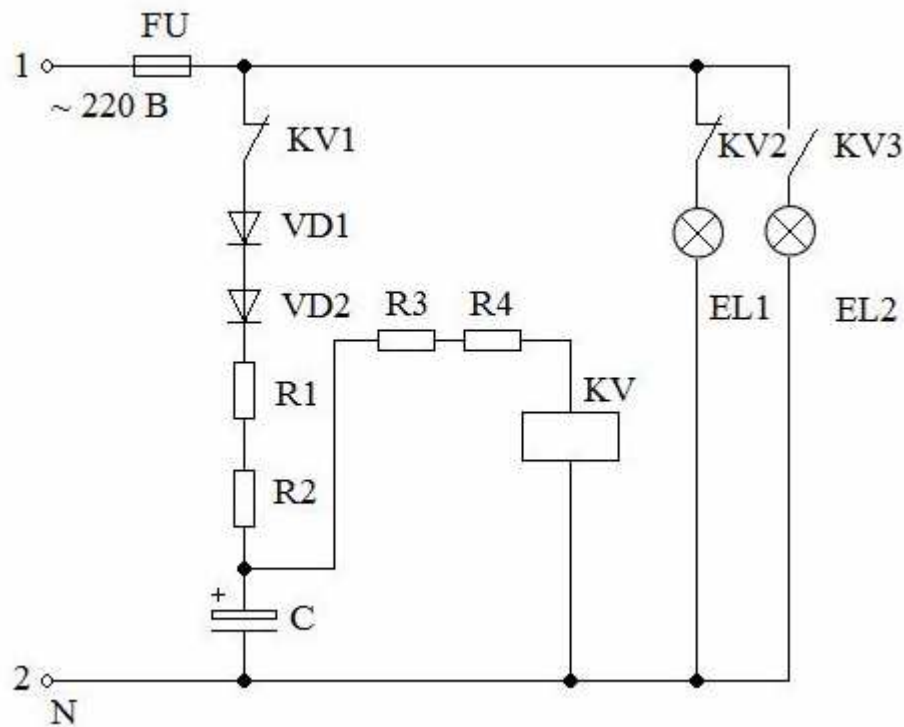


Рис. 1. Принципова схема блоку сигналізації (HL)

Пропонуємо схему **блоку захисту (FA)** (рис.2). Вона складається з таких елементів: запобіжник плавкий **FU**; однополюсний вимикач **SA**; лампи розжарювання сигнальні **EL1**, **EL2** і **EL3** ( $U_{ном.} = 220$  В,  $P_{ном.} = 25$  Вт), забарвлені відповідно в білий, червоний і жовтий кольори; кнопковий вимикач натискний з поверненням кнопки **SB**; струмове реле **KA** і реле напруги **KV**; додатковий резистор **R**. Роль струмового реле може відігравати реле максимального струму **PT40** з проміжком часу замикання контактів  $\Delta t = 0,1$ с та з відношенням вхідного струму  $I_{вх}$  до струму спрацьовування реле  $I_{спр}$ , рівним  $k = I_{вх}/I_{спр} = 1,2$ , або реле максимального струму **PT140** з  $\Delta t = 0,03$ с і  $k = 3,0$ . До клем 3 і 4 підключається електроприймач, що захищається (наприклад, ручний електроінструмент). Загальний опір навантаження електроприймача  $Z_n$  складається з активного опору  $R_n$  і реактивного (ємнісно-індуктивного) опору  $X_n$ , тобто  $Z_n = R_n + jX_n$ .

Електроприймач спочатку знаходиться в нормальному режимі роботи. Резистор **R** підбирається так, щоб забезпечити спрацьовування реле **KA** при



аварійному режимі роботи, тобто виникненні струму короткого замикання КЗ ( $I_{кз}$ ) в електроприймачі.

Принцип дії схеми такий. При включенні вимикача **SA** засвічується сигнальна лампа **EL1** (“Включено в мережу”). При цьому, на загальний опір навантаження електроприймача  $Z_n$  подається знижена напруга, оскільки існує падіння напруги на резисторі **R** і котушці реле **KA**. Сила струму, який протікає по котушці реле **KA** недостатня для його спрацьовування. При натисненні на кнопку **SB** (“Подача напруги”) спрацьовує реле напруги **KV** і замикає свої контакти (**KV1**, **KV2**), унаслідок чого засвічується сигнальна лампа **EL3** (“Напруга подана”) і на вхід електроприймача подається номінальна напруга мережі через замкнений контакт **KV2**.

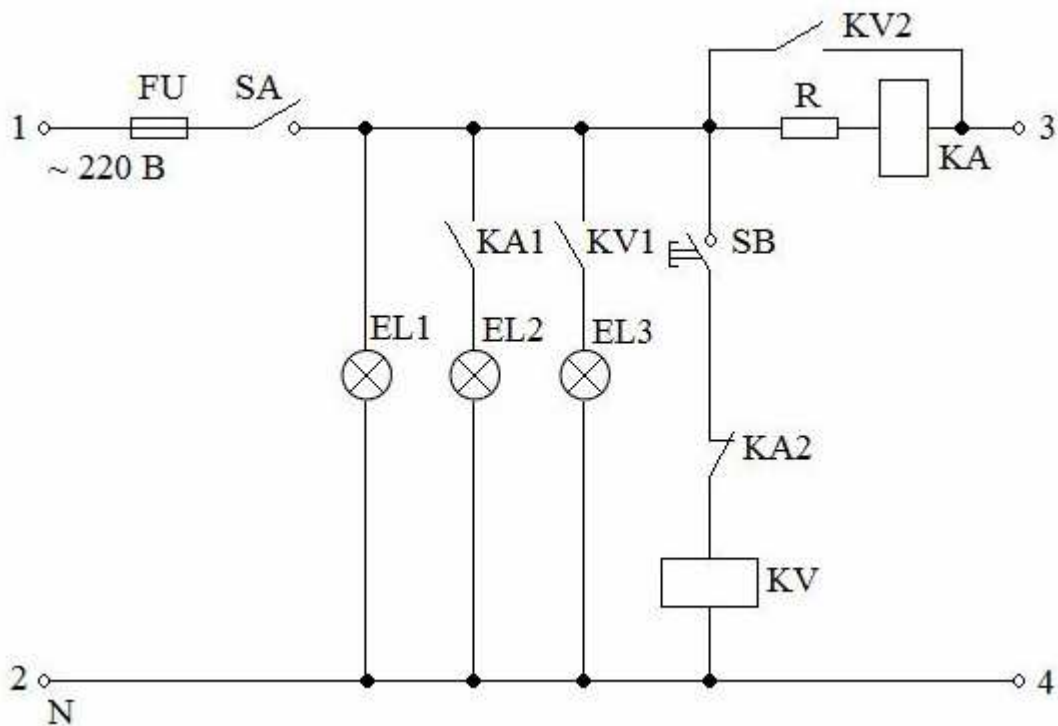


Рис. 2. Принципова схема блоку захисту (FA)

Розглянемо ситуацію, пов’язану з *аварійним (ненормальним) режимом роботи електроприймача*, що викликаний струмом КЗ, значення сили якого перевищує силу номінального струму уставки реле струму ( $I_{кз} \geq I_{ном.вст}$ ). При цьому спрацьовує реле **KA**, що спричиняє розмикання нормально замкнутого контакту **KA2** та замикання контакту **KA1**. В результаті відбувається знеструмлення

котушки реле напруги **KV**, розмикання контактів **KV1**, **KV2** і засвічування сигнальної лампи **EL2** (“Увага! небезпечно!”). Правильно вибраний плавкий запобіжник **FU** повинен автоматично відключити блок захисту **FA** і пошкоджений електроприймач від мережі живлення. Це відбувається за умови  $I_{кз} / I_{ном.плавк.вст.} \geq 3$ , де  $I_{ном.плавк.вст.}$  – сила номінального струму плавкої вставки запобіжника.

Учням належить знати, що **ПЗВ** – це пристрій швидкодіючого захисту, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. До ПЗВ пред’являються відносно жорсткі *вимоги*: висока струмова чутливість (здатність реагувати на малі зміни вхідної величини сили струму  $\Delta I_{вх}$ ), малий час відключення ( $\Delta t \leq 0,2$  с), селективність роботи (здатність відключати напругу тільки від пошкодженого обладнання), надійність, самоконтроль (здатність відключати електрообладнання при несправності в самому ПЗВ). До таких ПЗВ, які відповідають вказаним вимогам, відносяться пристрої заводського виготовлення, схемне виконання яких є складним і відноситься до типу *комбінованих схем* (наприклад, пристрої С- 904, ІЕ- 9802).

Конструктивно більш прості ПЗВ частково задовольняють вище виділені вимоги. Зокрема, пристрої, які реагують на струм нульової послідовності, розраховані на номінальний струм навантаження 25 А, “...мають уставку  $I_{0y} = 10$  мА і тому захищають людину від ураження при дотику до фази ” [6, с. 165]. Такі ПЗВ мають час спрацювання не більше 0,05с і досить надійні для захисту людей, що використовують ручний електроінструмент (наприклад, пристрої С-881, С- 901, ІЕ- 9801). Схема ПЗВ на струмі нульової послідовності при достатній швидкодії може забезпечити безпеку при дотику людини до однієї фази з будь-яким режимом нейтралі вторинної обмотки трансформатора (глухозаземленою, ізольованою) мережі до 1000 В.

Зазначимо, що відповідно до ГОСТ 12.1.038-82, гранично допустимі (г.д.) значення сили струму та напруги за тривалості дії 0,01-0,08с при аварійному режимі роботи електроустановки є такі  $I_{г.д.} = 650$  мА,  $U_{г.д.} = 550$  В, а при тривалості дії  $\Delta t = 1$  с є такі  $I_{г.д.} = 50$  мА,  $U_{г.д.} = 60$  В. Учням потрібно задати запитання: “Чому при  $\Delta t > 1$  с

стандарт ГОСТ 12.1.038-82 істотно зменшує значення величин струму і напруги до таких значень  $I_{г.д.} = 6 \text{ мА}$ ,  $U_{г.д.} = 20 \text{ В}$  ?”.

Найбільш допитливим учням можна повідомити, що **захисне відключення** може застосовуватися як **єдиний** захисний захід в мережі з глухозаземленою нейтраллю за умови наявності всіх вимог до ПЗВ, що виключає можливість роботи електроустановки при несправному ПЗВ. Захисне відключення при наявності самоконтролю може застосовуватися як **основний** захід захисту сумісно з зануленням, коли останнє не забезпечує надійної безпеки. І нарешті, ПЗВ може застосовуватися як **додаток** до занулення, за умови надійності останнього.

Слід пояснити учням, що **надійність** функціонування апаратів захисту (запобіжників, автоматичних вимикачів, виносних реле тощо) визначається не тільки ймовірністю  $p(t)$  їх спрацьовування при ненормальному (перехідному, аварійному) режимі функціонування електричного кола, що захищається, але й значенням проміжку часу спрацьовування ( $\Delta t$ ). Правильно підібрані апарати захисту повинні забезпечувати якнайменший можливий проміжок часу відключення струму КЗ або струму перевантаження. Інакше можливий перегрів проводів (кабелів), утворення електричної дуги й інших небезпек для електричного кола і людини, яка його обслуговує. Подібне може трапитися на уроках профільного технологічного навчання при демонстраційному експерименті, показі трудових вправ, випробуванні тимчасових електричних кіл, самостійній роботі учнів без належного нагляду та контролю з боку вчителя.

Очевидно, що блок захисту, побудований за розглянутою вище схемою **FA**, може використовуватися вчителем трудового (профільного) навчання тільки як засіб демонстраційного експерименту. Це пов'язано з тим, що проміжок часу  $\Delta t$  спрацювання блоку захисту при КЗ лежить в діапазоні  $(0,1 \div 1) \text{ с}$ , де верхня межа задається найбільшим проміжком часу перегорання плавкої уставки запобіжника.

Підсумовуючи вище викладене, зазначимо, що відносно глибокий розгляд питань електробезпеки на уроках профільного технологічного навчання з

одночасним вдосконаленням заходів захисту є запорукою зменшення статистичних показників підліткового травматизму від електричного струму.

### Список літератури

1. Вайнштейн Л.И. Памятка населению по электробезопасности. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 34 с.
2. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с изменением №1, утвержденным в декабре 1987 г., переиздание стандарта в январе 1996 г.).
3. Єсипенко А.С., Таїрова Т.М., Лесковець В.І., Сліпачук О.А. Рекомендації щодо впровадження заходів з профілактики виробничого травматизму // Охорона праці: Додаток (На допомогу спеціалісту з охорони праці). – 2010. – № 12. – С. 2 – 47.
4. Костюченко М.П., Качур І.В. Загальні питання та менеджмент охорони праці: Навчально-методичний посібник. – Донецьк: Вид-во Д І Ш І, 2010. – 160 с.
5. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
6. Охрана труда в электроустановках: Учебник /Под ред.Б.А.Князевского. – М.:Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. НПАОП 40.1–1.21-98. – К.: Основа, 1998. – 380 с.

УДК 373.62:315.4

*Статья раскрывает некоторые аспекты методики преподавания элементов электробезопасности на уроках профильного технологического обучения. Рассматриваются мероприятия и средства от поражения электрическим током. Наводятся принципиальные схемы блока сигнализации и блока защиты, которые может использовать учитель трудового (профильного) обучения на уроках в демонстрационных целях.*

**Ключевые слова:** *электрический ток, электротравматизм, электробезопасность, электрозащитные мероприятия, электрозащитные средства, преподавание.*

UDC 373.62:315.4

*The article exposes some aspects of method of teaching of elements of safety from electricity on the lessons of the type technological teaching. Measures and facilities from the defeat by an electric current are examined. The of principles charts of block of signaling and block of defence, which can be used by the teacher of the labour (type) teaching on lessons in demonstration aims, are pointed.*

**Keywords:** *electric current, traumatism from electricity, safety from electricity, measures of defence from an electric current, facilities of defence from an electric current, teaching.*