

УДК 621.311

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ**Н.Ф. Колесникова**, мол. наук. співр., **О.І. Козлова**, пров. інж.-прогр., **О.А. Литвинова**, пров. інж.-прогр.Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
e-mail: mes@ied.org.ua

Представлено результати роботи по створенню інтелектуалізованої системи для релейного захисту. Описано принципи, на яких побудовано систему, представлено базу знань у вигляді фрейму-сценарію, інтерфейс системи. Розглянуто функціональні можливості розробленого програмного забезпечення для виконання автоматизованих розрахунків аварійних режимів складних електричних мереж та вибору уставок релейного захисту. Бібл. 5, рис. 2.

Ключові слова: інтелектуалізована система, енергосистема, електрична мережа, релейний захист, аварійний режим, фрейми, база знань, інтерфейс, програмне забезпечення.

У зв'язку з постійним розвитком мережі електроенергетичної системи (ЕЕС) України, що призводить до топологічної та параметричної її складності та можливих аварійних ситуацій, забезпечення надійності Об'єднаної ЕЕС (ОЕЕС) покладається на новітні, більш складні й досконалі мікропроцесорні (МП) засоби захисту. Враховуючи складність мікропроцесорних захистів, змінність зони спрацювання дистанційного МП захисту від усіх видів короткого замикання (КЗ) та у зв'язку з проблемою підвищення надійності та безпеки функціонування електричних мереж, виникла потреба в розробці сучасної інтелектуалізованої системи для автоматизації налаштування засобів захисту енергосистем, що дасть змогу модернізувати процес розрахунку аварійних режимів, вибору уставок МП пристроїв, які безпосередньо впливають на динамічну стійкість мережі ОЕЕС України.

Розроблена інтелектуалізована система – це інформаційно-обчислювальна система, яка заснована на знаннях про предметну область (релейний захист) з інтелектуальною підтримкою при вирішенні широкого класу різних завдань, пов'язаних з розрахунками аварійних режимів і уставок релейного захисту та МП пристроїв за участю абонента системи (інженера-релейника), який приймає рішення. Підтримка прийняття рішення – це сукупність процедур, що забезпечує інженера-релейника, який приймає рішення, необхідною інформацією та рекомендаціями, що полегшують процес його прийняття. Ця інтелектуалізована система допомагає фахівцям вибрати і/або сформулювати потрібну альтернативу серед безлічі виборів при прийнятті відповідальних рішень щодо вибору уставок МП пристроїв.

Така інтелектуалізована система здатна полегшити абоненту системи прийняття рішення в умовах:

- необхідності обробляти і аналізувати великий масив інформаційно-розрахункової бази даних (особливо при розрахунку та виборі уставок МП захистів);
- обмеженої інформації для розрахунку;
- невизначеності;
- необхідності розпізнавати ситуацію;
- формалізації і представлення знань;
- розпізнавання текстів природною мовою;
- адаптації і самонавчання та інше.

Розроблена інтелектуалізована система має необхідну математичну, логіко-алгоритмічну, програмну підтримку з потужною діагностикою при вирішенні перерахованих вище завдань служб релейного захисту енергосистем (ЕС).

Основою інтелектуалізованої системи є база знань (БЗ), тобто модель предметної області (knowledgebased systems), яка описана мовою, наближеною до природної. В ній знання

зберігаються у формі, зрозумілій фахівцям предметної області, і можуть бути змінені та доповнені також у зрозумілій формі [2, 5]. Мета подання знань – організація необхідної інформації такою формою, щоб користувач мав легкий доступ до неї для аналізу ситуацій, що виникають, прийняття рішень. Знання – це закономірності предметної області (принципи, зв'язки, закони), отримані в результаті практичної діяльності, професійного досвіду та керівних вказівок, що дозволяють фахівцям-релейникам ставити і вирішувати завдання в області релейного захисту.

На цей час відомий ряд базових моделей подання знань та їх модифікацій – це подання за допомогою фактів і правил, обчислення предикатів, нейронні мережі, семантичні мережі, фрейми. Таким чином, перед розробниками спеціалізованої інтелектуалізованої системи виникла задача вибрати з числа існуючих моделей подання знань ту, за допомогою якої найбільш адекватно і ефективно можна буде забезпечити репрезентацію в пам'яті комп'ютера понятійної структури предметної області та на базі якої моделі подання знань побудувати дану інтелектуалізовану систему стосовно конкретної задачі – релейного захисту. Було розглянуто перелік критеріїв оцінки моделей подання знань:

- рівень складності (абстрактності) елемента знань, з якими працює модель;
- універсальність подання знань – можливість опису знань цієї предметної області;
- умовний опис основних об'єктів предметної області, їх атрибутів і закономірностей, що їх зв'язують;
- природність і наочність представлення знань при використанні;
- здатність моделі до навчання і формування нових несуперечливих знань;
- розмірність моделі за обсягом пам'яті, необхідної для зберігання елемента моделі;
- зручність розробки системи з точки зору програмування на основі моделі.

У результаті аналізу цих критеріїв, провівши змістовний аналіз предметної області, виявивши поняття, які використовуються в релейній області, та їх взаємозв'язки, при розробці інтелектуалізованої системи для автоматизації налаштування засобів захисту енергосистем та енергооб'єднань була прийнята модель подання знань за допомогою фреймів (frames). Вперше цю модель було запропоновано американським вченим в галузі штучного інтелекту, засновником Лабораторії штучного інтелекту в Массачусетському технологічному інституті, Марвіном Мінським [4]. У своїй теорії він вважає, що процеси людського мислення базуються на матеріалізованих, численних запам'ятованих структурах даних – кадрах, що зберігаються в його пам'яті, за допомогою яких людина розуміє слова (семантичні фрейми), дії (фрейми-сценарії) і т.ін. Процес розуміння при цьому супроводжується активізацією в пам'яті відповідного фрейму і погодженням його термінальних вершин з поточною ситуацією. У разі невдачі з пам'яті за допомогою мережі пошуку інформації, що об'єднує системи фреймів, «вибирається» інший фрейм, термінали якого, можливо, виявляться між собою у більш відповідних відносинах стосовно до тієї ж ситуації, яка розглядається.

Фрейм будь-якого виду – це та мінімально необхідна структурована інформація, яка однозначно визначає такий клас об'єктів та є структурою даних для представлення стереотипної (часто повторюваної) ситуації. Фрейм являє собою не одну конкретну ситуацію, а найбільш характерні, основні моменти ряду близьких ситуацій, що належать одному класу. З кожним фреймом асоційована інформація різних видів. Одна її частина вказує, яким чином слід використовувати цей фрейм, інша – що ймовірно може спричинити його виконання, третя – що слід зробити, якщо ці очікування не підтвердяться.

Переваги фреймів, як моделей подання знань, пов'язані з їх наочністю, гнучкістю, модульністю, спадкуванням властивостей, використанням процедурних прив'язок. Фрейм можна уявляти собі у вигляді мережі, що складається з вузлів і зв'язків між ними. «Верхні рівні» фрейму чітко визначені, оскільки утворені такими поняттями, які завжди справедливі по відношенню до передбачуваної ситуації. На більш низьких рівнях є багато особливих вершин-терміналів або «осередків», які мають бути заповнені характерними завданнями, прикладами або даними. Кожним терміналом можуть встановлюватися умови, яким повинні задовольняти його завдання. Важливою рисою фреймів є те, що вони можуть утворювати ієрархічні

структури. Результати характерних дій відбиваються за допомогою трансформацій між фреймами системи. Вони використовуються, щоб прискорити обчислення певних видів при поданні типових змін у одній і тій же ситуації. Фрейм може містити велику кількість деталей, які можуть і не підтвердитися цією ситуацією. Завдання відсутності «немічно» пов'язані зі своїми терміналами, тому вони можуть бути легко «витіснені» іншими завданнями, які краще підходять до поточної ситуації. Теорія подання знань за допомогою фреймів дає змогу охопити єдиною концепцією різні теорії, як розуміння природної мови, машинного «сприйняття» зорових образів, пошуку рішень і т. ін. По суті, такий спосіб представлення знань забезпечує природну структуру їх вираження і робить ці знання доступними комп'ютеру та допомагає програмісту описати його структуру. Це все характерне для релейного захисту.

При розробці інтелектуалізованої системи для автоматизації налаштування засобів захисту енергосистем було прийнято подання знань у вигляді фреймів-сценаріїв, що представляють собою типову структуру для вибору уставок релейного захисту або розрахунку аварійних режимів тощо та включають характерні елементи цієї події, яка при її заповненні відповідними значеннями перетворюється на опис конкретного факту, події або більшої ефективності – ситуації з роз'яснювальною коментарійною інформацією (за рахунок введення додаткових знань у релейній області про застосування) та інформацією, що в дужках, з покращеною візуалізацією за рахунок підсвічення різними кольорами. Це робить фрейм-сценарій ще більш доступним для огляду на екрані. Фреймова модель заснована на принципі кластеризації (фрагментації) знань. Розроблено структурування (тобто концептуалізацію) знань про предметну область – релейний захист. Було визначено термінологію, список основних понять і атрибутів, відносини між поняттями, структуру вхідної і вихідної інформації, стратегію прийняття рішень.

При цьому абонент системи набуває вже готових фрагментів знань відповідно до структури, закладеної розробниками системи. Теорія фреймів спрямована на об'єктивний підхід і осягнення глибоких знань предметної області.

Для побудови моделі, що відбиває уявлення розраховувача про предметну область, необхідна спеціалізована мова, за допомогою якої можна описувати знання в релейній області. По суті, спосіб представлення знання має забезпечити природну структуру його вираження, що дає змогу вирішити проблему. Мова уявлень по предметну область повинна володіти наступними властивостями: обробляти знання, виражені в якісній формі; отримувати нові знання з набору фактів і правил; відображати загальні принципи і конкретні ситуації; передавати складні семантичні значення та інше.

Спосіб подання має зробити ці знання доступними для комп'ютера і допомогти програмісту описати його структуру [2]. Носієм знакової форми представлення знання є природна мова, яка дає змогу зафіксувати будь-яку інформацію із застосуванням символів (букв і цифр). Мовою подання знань була вибрана російська, у зв'язку з тим, що комплекси ІЕД НАН України у складі розробленої інтелектуалізованої системи впроваджуються не тільки в Україні, а і в країнах СНД. У 2015 р. програмний комплекс у Windows-інтерфейсі з програмним забезпеченням для розрахунків уставок мікропроцесорних захистів 7SA5**, 7SA6** фірми Siemens та інтелектуалізованою системою автоматизації розрахунків аварійних режимів і уставок РЗ було поставлено, налагоджено і введено в промислову експлуатацію в АТ «Каззахстанская компания по управлению электрическими сетями (Kazakhstan Electricity Grid Operating Company)» «KEGOC» (Республіка Казахстан).

Ця мова створювалася поступово за допомогою категоріального апарата, прийнятого в службах релейного захисту, а також формально-знакових засобів математики. Понятійно-категоріальний апарат служить найважливішим компонентом системи логічно упорядкованих знань – це сукупність понять, категорій і термінів, які дають змогу в узагальненій формі відбити явища, характерні для цієї предметної області (тобто релейного захисту, розрахунку аварійних режимів), а також зв'язки між ними шляхом фіксації їх істотних властивостей, ознак і закономірностей. Для представлення поняття в природній мові використовується сло-

во або словосполучення, що зветься ім'ям. Воно відіграє роль ідентифікатора, виділяючи поняття серед інших, наприклад:

- відлагодження від КЗ протилежних шин своєї повітряної лінії (ПЛ) – «Отс от КЗ противошин своей ВЛ»;
- КЗ на шинах – «КЗ⇒»; КЗ уздовж ПЛ - «КЗвл⇒»;
- узгодження з вибраною уставкою першого ступеня МП захисту ДЗ-S суміжного автотрансформатора (АТ) – «Сог со Ст1 ДЗ-S смежного АТ» і т.ін.

Оскільки фрейм являє собою мережу, що складається з вузлів і зв'язків між ними, то кожен вузол має бути заповнений своїм "завданням", що представляє собою ті чи інші характерні риси ситуації, якій він відповідає. Вузли фрейму, що належать до верхніх рівнів, являють собою більш загальні речі, які завжди справедливі відносно передбачуваної ситуації. Ці вузли вже заповнені своїми завданнями. Наприклад, вузол самого верхнього рівня фрейму зазвичай заповнений назвою ситуації, дії. Вузли нижніх рівнів називають терміналами. Вони заповнені конкретними даними, що представляють собою їх можливі завдання в процесі пристосування фрейму до конкретної ситуації, з того класу ситуацій, який представляє даний фрейм. Група фреймів об'єднується в систему фреймів [4]. Результати характерних дій відбуваються за допомогою трансформацій між фреймами системи, що прискорює обчислення вибору уставок РЗ або розрахунку аварійних величин.

Таким чином, для того щоб знати, коли користуватися сценарієм, потрібні заголовки, що визначають обставини, за яких звертаються до даного сценарію. У кожен фрейм включені термінали, призначені для приєднання показників, що надходять до його субструктур. Один з безлічі можливих способів формалізації фрейму-сценарію передбачає подання його у вигляді мережі наступної ієрархічної структури. Структура фрейму-сценарію для розрахунку і вибору уставок МП пристроїв (REL6** фірми АВВ або 7SA5** фірми Siemens): самий верхній рівень мережі – ключова фраза-ідентифікатор такого захисту, уставки якого розраховуються. Наприклад: «ВАРИАНТНЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЗ-R670» або «ВАРИАНТНЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЗ-Sm ОТ ВСЕХ ВИДОВ КЗ». Далі розрахунок уставок будується за ієрархічним принципом. Фрейм «Комутації, гілка розрахункового захисту» містить перелік підрежимів з трифазними комутаціями, ідентифікатор і гілку розрахункового захисту (а в разі потреби – додаткову інформацію такого захисту). Наприклад, фрейм «Ступень №» містить ідентифікатор і номер його розрахункового ступеня, більш низькі рівні цього фрейму – це номери розділів – «Раздел №», із зазначенням умови його виконання, команди обчислення аварійних величин, розрахунків і перевірки уставок цього ступеня.

Розрахункові команди, передбачені для кожного захисту мікропроцесорних пристроїв REL6** фірми АВВ, 7SA5**(7SA6**) фірми Siemens та інших: «Отстройка», «Согласование», «Обеспечение необходимой чувствительности», «Проверка чувствительности», «Зона охвата». Ці команди в загальному випадку містять їх ідентифікатори, елементи з несиметріями (в першу чергу з КЗ) та їх видами і номери розрахункових підрежимів, а також іншу допоміжну інформацію, а команда «Согласование» – також й інформацію по суміжних елементах, їхніх захистах і уставках, за узгодженням з якими даною командою визначаються уставки розрахункового ступеня. На рис. 1 зображено структуру фрейму-сценарію для варіантного розрахунку параметрів (уставок) МП захисту ДЗ-R670 фірми АВВ. Аналогічний вигляд має структура фрейму-сценарію для варіантного розрахунку і вибору параметрів (уставок) МП дистанційного захисту 7SA5**(7SA6**) фірми Siemens.

Структури фреймів-сценаріїв розрахунку і вибору параметрів (уставок) МП струмових захистів, типових захистів (струмових та дистанційних) теж мають аналогічний вигляд.

Вони відрізняються назвою ситуації (заголовками сценаріїв), відсутністю розділів (для струмових МП і типових захистів), переліком команд та їх змістом, коментарями, що характерні тільки для кожного конкретного фрейму-сценарію. Тобто розроблена узагальнена структура бази знань (даних) для розрахунків параметрів і вибору уставок РЗ.

У результаті відображення такої фреймової структури (високоструктурованих взаємопов'язаних знань) у абонента системи формується певна понятійна структура, тобто

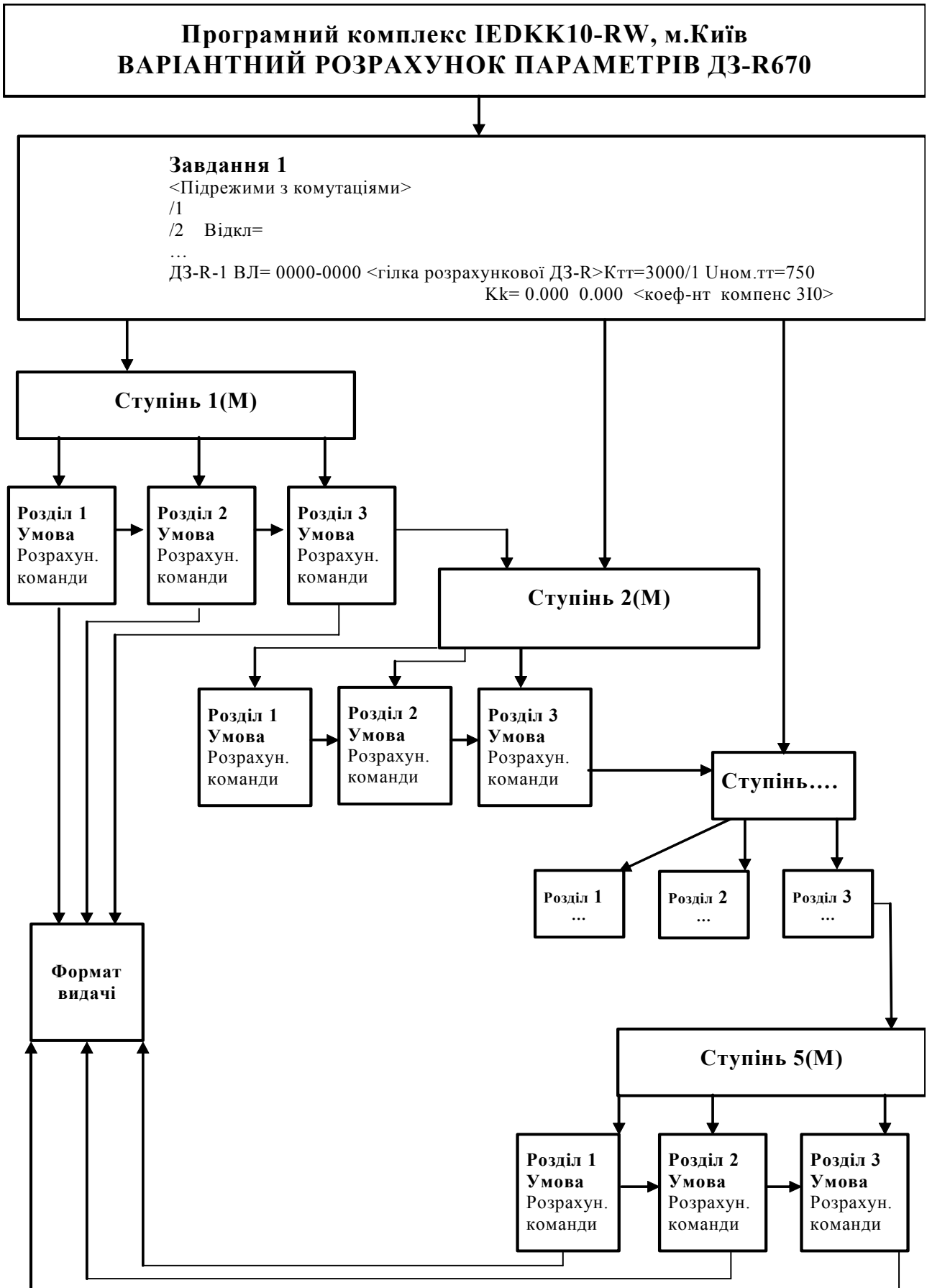


Рис. 1

сукупність понять предметної області плюс способи міркувань на поняттях, пов'язаних з вирішенням конкретних завдань розрахунків аварійних режимів, визначення місця пошкодження ПЛ, розрахунків параметрів та вибору уставок як типових вітчизняних релейних захистів, так і МП пристроїв. Абонент системи використовує об'єктно-орієнтоване представлення знань (фрейми-сценарії) у системі як макети для розрахунків аварійних режимів уставок захистів за відповідними програмами.

Подача знань, як інформаційних об'єктів для обробки на комп'ютерах, визначила перехід від бази знань до бази даних (БД). У створеній інтелектуалізованій системі база знань не відкидає і не замінює БД. Вони розглядаються як різні рівні представлення інформації, що зберігаються в інтелектуальному банку даних системи. Перший рівень – описи, відносини, правила і процедури, що визначають спосіб маніпулювання фактографічною інформацією, другий рівень – сама фактографічна інформація. Абонент системи працює з тими структурами інформації, які реалізовані в БЗ, тобто об'єктно-орієнтоване представлення знань (даних) у системі. Абоненту системи після відображення фреймової структури (фактично макета з коментарями та підказками для розрахунку) на екрані залишається внести туди лише необхідну інформацію поточного завдання, яка при такому підході стає мінімальною за об'ємом. Дані, що внесені до фреймової структури і використовуються далі у розрахунку, можуть інтерпретуватися лише відповідними програмами.

Для всіх програм комплексу, що працює в складі системи, у будь-якому фрагменті записуваної інформації можуть ставитися фігурні, квадратні та круглі дужки $\{ [()] \}$ – для автоматичного усунення при введенні в оперативну пам'ять записаної в них інформації і в той же час її зберігання у файлі на МД (дужки можуть бути вкладеними), а також кутові дужки $< >$ (обмежуючі коментарі), що приводяться для будь-яких попередніх фрагментів вихідної інформації і не враховуються в розрахунку, але зберігаються як у файлі на МД, так і в результатах розрахунку у складі вихідної інформації, що виводиться на друк. При активізації на моніторі вихідних даних розрахунку інтелектуалізована система, визначивши вигляд дужки, що відкривається, шукає відповідну їй дужку, що закривається, і автоматично підсвічує певним кольором вміст дужок. Це, по-перше, дає змогу визначити помилки за їх наявності (аналіз інформації в дужках: невідповідність тих, що відкриваються, і відповідних ним дужок, що закриваються), по-друге, абонент системи відразу бачить де необхідно заповнювати фрейм-макет.

Системою передбачено багатоваріантний аналіз вихідних даних. На першому проході йде діагностика дужок, на другому – контролюється заповнення команд, формування відсутньої вихідної інформації, правильність переходів і відгалужень, передбачених для розрахунків аварійних режимів і уставок РЗ та МП пристроїв. Якщо команда не заповнена, вона пропускається. У зв'язку з необхідністю обробляти і аналізувати великий масив інформації, вихідна інформація оптимізована. Так, наприклад, при узгодженні з суміжними і паралельними ПЛ у команді може не задаватися несиметрія, що сприяє наочності вихідних даних і зменшенню їх інформаційної надлишковості, вона автоматично сформується системою.

Всі розрахунки струмів КЗ, аварійних режимів, вибору уставок струмових та дистанційних захистів типових РЗ та мікропроцесорних пристроїв згідно з існуючою методикою проводяться з метою економії витрат машинного часу у відповідних автоматично формованих районах складної електричної мережі і реалізуються з використанням її автоматичного подвійного еквівалентування: базова математична модель (БММ) – у базову математичну модель району (БМР), БМР – у базову математичну модель частини району (БМЧР), оперувати якою при виконанні необхідних багатоваріантних розрахунків з погляду отримання швидкого оперативного результату розрахунку ефективніше, ніж всією електричною мережею, яка може містити до 10000 вузлів. Спеціалізована програма, наявна в системі, при аналізі вихідних даних формує для виділення району всю відсутню інформацію. Так, система, аналізуючи команду, за відсутності несиметрії, що потрібна при виділенні БМР, формує її за замовчуванням у вигляді однофазного короткого замикання уздовж лінії (тобто «плаваюча» точка з КЗ) для узгодження з захистами ДЗ-R, ДЗ-S, СЗНП, а для ДЗ – у вигляді двофазного

КЗ уздовж лінії. Коротке замикання вздовж ПЛ формується з позначення лінії, з якою є узгодження, при цьому автоматично формується константа числа частин, на які ділиться сформована гілка точками з КЗ (кількість їх буде рівною 10). Крім того, відсутня інформація власне для вибору уставок МП захистів формується на основі знань про предметну область (тобто про РЗ), які закладені в цю програму. Це і час спрацьовування захисту, і відсутні кути характеристики елемента, з яким планується узгодження, і ступінь селективності роботи захисту та багато іншого.

Інтерфейс користувача розробленої інтелектуалізованої системи – сукупність програмних і апаратних засобів, що забезпечують взаємодію інтелектуалізованої системи з користувачем на всіх стадіях її функціонування на основі звичних понять, термінів, образів, притаманних певній сфері інтелектуальної діяльності абонента системи для вирішення завдань аварійних режимів, розрахунку і вибору уставок РЗ та МП пристроїв.

Розроблений інтерфейс запобігає ситуаціям, які можуть закінчитися помилками, попереджає користувача про можливі помилки і способи їх попередження, пропонує скасування помилкових дій. Інтерфейс забезпечує простоту роботи в поєднанні з реалізацією доступу до широких функціональних можливостей. Один з можливих шляхів підтримки простоти роботи – представлення на екрані інформації, мінімально необхідної для виконання користувачем чергового кроку завдання. Інший шлях – розміщення та представлення елементів управління на екрані з урахуванням їх змістового значення і логічного взаємозв'язку. Цей підхід орієнтується на асоціативне мислення користувача.

Завдяки розробленому інтерфейсу спостерігається легкість і швидкість роботи абонента системи:

- легке завантаження великої кількості вже налагоджених елементів (вікон, екранів і колірних схем БММ);
- кількість дій, необхідних для виконання певного завдання, зведено до функціональної простоти – відображення на екрані необхідної фреймової структури БЗ (фактично макета з коментарями і підказками для розрахунку) і внесення до неї лише необхідної інформації поточного завдання;
- захищеність від помилок користувача;
- зручність роботи користувача з розрахунковими програмами;
- зовнішній дизайн (вид, розміри і розміщення елементів управління програмою, використовується колірна гамма), наочність БЗ (за рахунок кольорів і представленої моделі фрейму);
- простий і швидкий спосіб розміщення активного вікна в потрібне місце екрана, розміщення фреймових структур на екрані (вертикальне, горизонтальне, каскадом);
- зручний і функціональний сервіс пошуку інструмента або групи інструментів та інше.

Розроблений інтерфейс цієї інтелектуалізованої системи побудовано за принципом об'єктно-орієнтованого програмування на базі стандартної бібліотеки С++ [1]. При розробці інтерфейсу інтелектуалізованої системи був визначений підхід, що використовує об'єктну декомпозицію, при якій статична структура системи описується в термінах об'єктів та зв'язків між ними, а поведінка системи описується в термінах обміну повідомленнями між об'єктами.

Інтерфейс інтелектуалізованої системи для релейного захисту є розгалуженою фреймовою системою, що забезпечує повнофункціональний процес роботи з базою знань, вихідними даними та розрахунковими програмами, їх компонентами попередньої підготовки (сортування для подальшого використання відповідною розрахунковою програмою, обміну вихідними даними між вбудованими в інтерфейс програмами та інше) і корекції (форматизація та синтаксичне редагування, автоматизоване введення до них попередньо створених фреймів-сценаріїв та директорії знаходження розрахункової базової математичної моделі мережі та ін.) у режимі реального часу безпосередньо при розрахунках, оформлення результатів цих розрахунків (вибір форми та складу розрахункових величин) та перехресну роботу усіх інтегрованих у нього програм, що використовуються в процесі вибору уставок РЗ.

Всі компоненти системи – це об'єкти, які очікують події (натискання користувачем клавіш клавіатури або кнопок «миші», переміщення курсора тощо). Коли відбувається подібна подія, об'єкт отримує повідомлення про це та реагує на нього: виконує необхідні розрахунки або розгортає списки, або заносить інформацію у вікно редагування і т.ін. Побудований за такою методикою об'єктно-орієнтований інтерфейс підтримує всі необхідні операції інтелектуалізованої системи для релейного захисту.

Також для побудови інтерфейсу інтелектуалізованої системи було розроблено зберігання структурованих даних, обмін інформацією між програмами за допомогою мови XML (англ. eXtensible Markup Language), за допомогою якої створено певну структуру, що описує роботу кожної програми в комплексі, та зроблено налагодження роботи комплексу.

При розробці інтерфейсу було використано також бібліотеку шаблонів (STL). Стандартна бібліотека шаблонів (STL) (англ.: Standard Template Library) – це набір узгоджених узагальнених алгоритмів, контейнерів, засобів доступу до їх вмісту і різних допоміжних функцій в C++. Використання цієї бібліотеки дало можливість зберігання набору об'єктів у пам'яті, забезпечення засобів доступу до вмісту контейнера, визначення обчислювальної процедури, приховування функції в об'єкті для використання іншими компонентами і т. п.

Фреймовий підхід, який було використано при розробці системи, є ефективним методом для навчання. Для цього і були розроблені фрейми-сценарії з розрахунку і вибору уставок РЗ та МП пристроїв, що інтерпретують реальні ситуації, які необхідно врахувати при виборі уставок ПЛ і резервних захистів автотрансформаторів (АТ). Вони були сформовані на основі категоріального апарата, прийнятого в службах релейного захисту, керівних документів і є практично покроковою інструкцією для формування спеціалізованих блоків розрахункової інформації, що включають безпосередньо команди на майбутній розрахунок за технологічною програмою та докладний їх опис. Ці фрейми складаються з опису ланцюжка усіх майбутніх необхідних розрахункових команд при виборі уставок РЗ від початку до кінця (усі

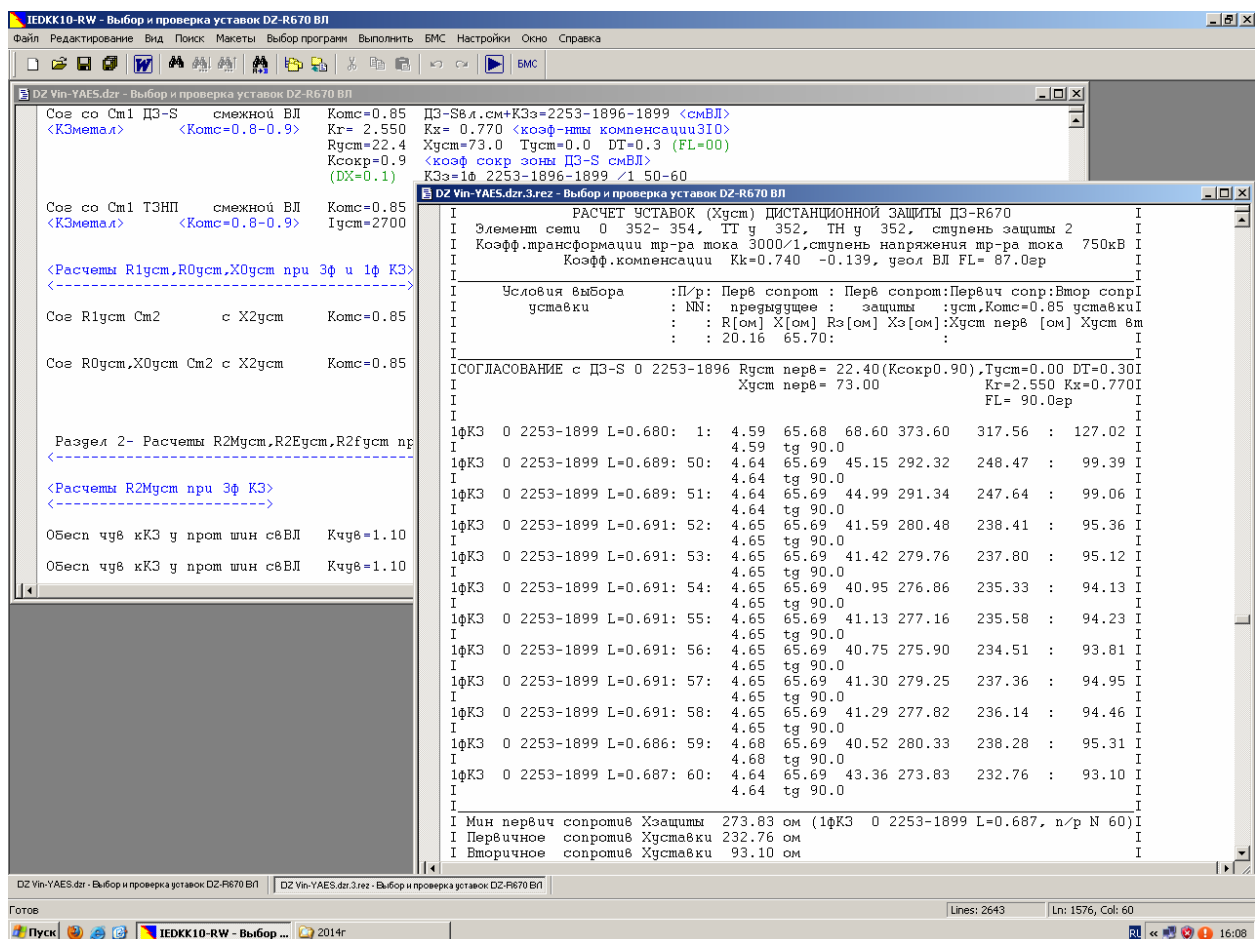


Рис. 2

ступені, їх послідовність, умови переходу від одного ступеня до іншого), коментарів та відповідно до керівних документів є навчальною та керівною інформацією. Самі «макети команд» є безпосередньо розрахунковою інформацією для подальшого використання у вигляді вихідного файлу при розрахунку за технологічною програмою. А форма моделі подання знань у вигляді фреймів-сценаріїв показала її гнучкість і наочність. Тобто реалізація фреймового підходу з високоструктурованими взаємопов'язаними знаннями у системі забезпечить якісне навчання за короткі терміни. Вона спрямована на об'єктивний підхід та досягнення глибоких знань предметної області – аварійних режимів і розрахунку та вибору уставок захистів. На рис. 2 показано фрагмент фрейму-сценарію та результат розрахунку за відповідною програмою.

Програмні комплекси розрахунків аварійних режимів та вибору уставок МП пристроїв REL6** фірми ABB і 7SA5** фірми Siemens для ПЛ та резервних захистів АТ у складі розробленої інтелектуалізованої системи були впроваджені у промислову експлуатацію в служби РЗА Центральної ЕС, ПАТ «Київенерго», АТ «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями (Kazakhstan Electricity Grid Operating Company)» «KEGOC» та його восьми філіях МЕМ (Республіка Казахстан), НЕК «Укренерго», Дніпровської ЕС, Південно-західної ЕС, Південної ЕС. Планується подальше впровадження у ЕС і обленерго України та країн СНД.

1. Авраменко В.М., Черненко П.О., Прихно В.Л., Мартинюк О.В., Юнеєва Н.Т., Колесникова Н.Ф. Дослідження моделей та інтелектуальних програмних засобів для автоматизації диспетчерського керування ЕЕС // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2014. – Вип. 38. – С. 39–47.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000.
3. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003.
4. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979.
5. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях. – М.: МИФИ, 2000.

УДК 621.311

Н.Ф. Колесникова, мл. науч. сотр., **Е.И. Козлова**, вед. инж.-прогр., **О.А. Литвинова**, вед. инж.-прогр.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Интеллектуализированная система для релейной защиты

Представлены результаты работы по созданию интеллектуализированной системы для релейной защиты. Описаны принципы, на которых построена система, представлены база знаний в виде фрейма-сценария, интерфейс системы. Рассмотрены функциональные возможности разработанного программного обеспечения для выполнения автоматизированных расчетов аварийных режимов сложных электрических сетей и выбора уставок релейной защиты. Библи. 5, рис. 2.

Ключевые слова: интеллектуализированная система, энергосистема, электрическая сеть, фреймы, база знаний, интерфейс, программное обеспечение.

N.F. Kolesnykova, O.I. Kozlova, O.A. Lytvynova

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Intellectualized system for the relaying

The results of work on the creation of intellectualized system for relaying. The principles on which the system is built, the knowledge base is presented in the form of a script frame, the system interface. The functional possibilities of developed software to perform automatic calculations emergency operation of complex electrical networks and selection of relay protection. References 5, figures 2.

Key words: intellectualized system, power system, electrical network, frames, knowledge base, interface, software.

Надійшла 25.03.2016

Received 25.03.2016