МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТРОЙНІНА Анастасія Сергіївна

УДК 004.02 : 004.825 : 004.942

МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА СУПРОВОДУ ЗНАННЯОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

Спеціальність 05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник — кандидат технічних наук, доцент
Рувінська Вікторія Михайлівна,
Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри системного програмного забезпечення

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мазурок Тетяна Леонідівна,
Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського,
завідувач кафедри прикладної математики та інформатики

доктор технічних наук, професор
Каргін Анатолій Олексійович,
Донецький національний університет
МОН України, м. Вінниця,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій

Захист відбудеться 24 березня 2016 о 13.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, проспект Шевченко, 1, ауд. 400-А

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, проспект Шевченко, 1.

Автореферат розісланий 23 лютого 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради О. Є. Колесніков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні вимоги до рівня безпеки з метою безаварійного функціонування об’єктів обумовлюють необхідність вдосконалення процесу автоматизованого контролю. Отже до функцій контролю відносяться, окрім спостереження, аналіз параметрів об'єкта для визначення його стану й надання обробленої інформації особі, що приймає рішення (ОПР).

Специфіка систем контролю, що розглядаються в роботі, полягає в тому, що кількість станів об'єктів є обмеженою, аналізовані параметри можуть бути різноманітними, тобто якісними, коли числові параметри об’єктів поступають з датчиків і конвертуються у нечіткі параметри, або логічними; досліджувані системи не є системами реального часу; умови контролю можуть змінюватися. Перераховані властивості систем контролю характерні для таких предметних областей (ПрО) як дотримання вимог охорони праці, екологія й економіка, медицина та санітарія, техніка та інші. Досліджувані системи контролю можуть працювати як автономно, так і включатися в якості компонента в існуючі системи контролю, а також, зокрема, в системи автоматизованого моніторингу і управління.

Для прийняття рішень про стан об’єктів застосовуються правила, які зазвичай вбудовані в систему контролю. Однак умови контролю для більшості систем змінюються досить часто, і для полегшення супроводу таких систем виникає необхідність в настроюванні правил, а адаптація традиційних систем потребує значних затрат, що призводить до зниження оперативності внесення змін та скорочення достовірності рішень. Крім того, в багатьох системах контролю кожний параметр оцінюється окремо без зв'язку з іншими, і це негативно впливає на достовірність прийняття рішень за результатами контролю.

У зв'язку з тим, що задача контролю не є повністю формалізованою, умови контролю зазвичай описані декларативно та при автоматизації потребують накопиченого досвіду експертів, для комплексного аналізу об'єктів з можливістю оперативного внесення змін пропонується використання знанняорієнтованих систем.

Однак впровадження таких систем стримується, з одного боку, через незручний режим формування та оновлення знань, а з другого через наявність тільки спеціалізованих, тобто направлених лише на конкретні ПрО засоби розробки систем контролю. Отже існує протиріччя між потенціальними можливостями інтелектуальних знанняорієнтованих систем та недостатнім рівнем їх практичного використання через недосконаліть засобів інформаційної підтримки ведення баз знань (БЗ) і створення систем контролю. Тому **актуальною і невирішеною є науково-технічна задача** розробки нових моделей, методів та ІТ створення і супроводу систем контролю на базі знанняорієнтованого підходу.

Запропоновано використання такої моделі правил як І/АБО-граф, що дає можливість на ранніх етапах при структуризації знань із урахуванням специфіки досліджуваних систем контролю застосовувати методи математичної логіки для аналізу правил і на цій основі розробити інструмент, що забезпечує функціонально достатній набір операцій для опису розглянутих вище ПрО. Таким чином, БЗ містить менше помилок, що при її використанні веде до поліпшення достовірності прийнятих рішень і, як наслідок, до зменшення кількості аварійних ситуацій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася відповідно до плану НДР кафедри Системного програмного забезпечення ОНПУ №38-73 (№ ДР 0110U008193) «Методи, моделі та засоби аналізу та підвищення продуктивності комп'ютерних систем».

Мета і задачі дослідження. *Метою* дослідження є підвищення достовірності контролю, а також надання можливості оперативного внесення змін до правил за рахунок розробки нових моделей, методів та ІТ створення і супроводу систем контролю на базі знанняорієнтованого підходу.

Для досягнення цієї мети вирішені наступні *задачі*:

– проаналізовано існуючі засоби і системи контролю об’єктів, а також способи створення й підтримки правил контролю з метою визначення шляхів їх розвитку;

– проведено постановку задачі контролю, визначено особливості структури знань для контролю, яка залишається незмінною щодо різних ПрО, з метою вдосконалення засобів перевірки та підтримки знань в актуальному стані;

– удосконалено моделі правил у вигляді І/АБО-графа й булєвих виразів з метою побудови, візуалізації, інтерактивної роботи, внесення змін та перевірки правил контролю;

– розроблено методи перевірки правил контролю на суперечливість, повноту, досяжність станів;

– запроектовано та розроблено редактор правил;

– створено ІТ для побудови і супроводу знанняорієнтованих систем контролю;

– проведено апробацію розроблених методів та ІТ для декількох ПрО і дослідження їх результативності при використанні для прийняття рішень за результатами контролю та при навчанні.

Об'єктом дослідження є процес створення та впровадження систем контролю, заснованих на знаннях.

Предметом дослідження є моделі, методи й ІТ створення і супроводу знанняорієнтованих систем контролю.

Методи дослідження. Для візуалізації й інтерактивної роботи із правилами використовується теорія графів, при представленні І/АБО-графа у вигляді булєвих виразів і їх перетвореннях застосовується математична логіка, зокрема булєва алгебра; для визначення суперечливості посилок правил використовується теорія здійсненності булєвих формул SAT (SATisfiability problem); для розробки редактора правил застосовується об'єктно-орієнтований підхід (ООП).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці нових та вдосконаленні існуючих моделей і методів побудови та супроводу знанняорієнтованих систем контролю, які у сукупності забезпечують підвищення достовірності контролю та надають можливість оперативного внесення змін до правил. У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові результати:

– *одержала подальший розвиток* математична модель правил у вигляді І/АБО-графа, яка, на відміну від існуючої моделі, основана на розподілі правил на групи за станами об’єкту і містить спеціальну розмітку графа з урахуванням додаткової інформації про нечіткі та взаємно-протилежні параметри, вершину-стан, структуру правил; це дало можливість візуалізувати правила двома способами, інтерактивно працювати з ними, забезпечувати нечітке логічне виведення при їх застосуванні, а

також за рахунок перетворення шляхів у графі, що відповідають правилам, у логічні вирази, розробити методи перевірки правил;

– *одержала подальший розвиток* математична модель правил у вигляді логічних булєвих виразів у зв'язку із застосуванням її для задач контролю, яка, на відміну від існуючої, основана на розподілі правил на групи за станами об'єкту контролю і містить формули як для «прямих», так і для «інверсних» правил, що дає можливість перевіряти правила на суперечливість, повноту, досяжність станів на ранніх етапах проектування БЗ;

– *уперше розроблений* метод перевірки суперечливості посилок правил контролю з використанням моделі правил у вигляді булєвих виразів на основі задачі здійсненності булєвих формул (SAT), який, на відміну від існуючих, дозволяє виявляти протиріччя між посилками як усередині кожного правила, так і між правилами на етапі концептуалізації знань, що дозволяє зменшити кількість помилок у БЗ;

– *уперше розроблений* метод перевірки правил контролю на повноту з використанням моделі правил у вигляді булєвих виразів, що, на відміну від існуючих, заснован на візуалізації як «прямих», так і «інверсних» правил, у яких висновки протилежні висновкам вихідних правил, що дозволяє виявляти та доповнювати відсутні в правилах знання в автоматизованому режимі конструювання нового варіанта БЗ;

– *одержав подальший розвиток* метод перевірки досяжності в правилах контролю станів об'єктів, який, на відміну від існуючого, заснований на моделі правил контролю у вигляді булєвих виразів, що дозволяє видаляти правила, які не беруть участі для визначення стану об'єкта.

Практичне значення одержаних результатів. На основі створених моделей і методів автором розроблена ІТ побудови знанняорієнтованих систем контролю з використанням створеного інструментального засобу у вигляді редактора правил для конструювання й перевірки правил. На основі запропонованої ІТ і редактора правил були створені діючі прототипи ЕС контролю: перший, призначений для контролю за безпечною роботою з електроустановками, був запроваджений в комунальному підприємстві «Одескомунтранс», використання системи дозволило збільшити достовірність прийнятих диспетчером рішень на 12% та зменшити кількість нещасних випадків при виконанні робіт протягом декількох місяців спостереження на 32%; другий прототип ЕС для контролю за роботою комп'ютерної мережі запроваджений в ТОВ «Світеко», використовувався для системних адміністраторів і дозволив зменшити час їх навчання на 20% без погіршення якості. При зміні правил контролю час переробки систем зменшується до 3–4 годин, у той час як внесення змін у програмний код займає не менше кількох діб. При застосуванні розробленого редактора правил помилки, зв'язані з суперечливістю, виявлялися й виправлялися в середньому в 10% правил, завдяки перевірці досяжності в правилах станів об'єкту вдалося вилучити в середньому 5% правил, база знань задля поповнення її відсутніми правилами була збільшена в середньому на 12%. Результати досліджень також впроваджені в навчальному процесі підготовки студентів за фахом 6.050103 "Програмна інженерія" на кафедрі «Системне програмне забезпечення» ОНПУ.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці моделей, методів і технології розробки знанняорієнтованих систем контролю.

Автором запропоновано моделі для побудови, візуалізації, інтерактивної роботи із правилами контролю [2, 5, 8, 10]; розроблені методи для перевірки правил [4, 5]; проведений аналіз систем контролю та знанняорієнтованих систем [1, 6]; спроектований і реалізований редактор правил, що підтримує основні етапи запропонованої інформаційної технології [3, 4]; розроблені ЕС для двох ПрО [7, 9, 11, 12].

Апробація наукових результатів дисертації. Результати дослідження доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій у науці, освіті та економіці» (м. Луганськ, 2011 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Обчислювальний інтелект (OI-2011)» (м. Черкаси), на міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні й електронні технології» (м. Одеса, 2011 р., 2012 р.), на міжнародній конференції «Dependable systems, Services & Tehnologies»(м. Севастополь, 2012), на науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті та управлінні (ITEM)» (м. Нова Каховка, 2013 р.), на міжнародній конференції студентів і молодих учених «Сучасні інформаційні технології 2014» (м. Одеса, 2014 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технологи в металургії й машинобудуванні» (м. Дніпропетровськ, 2015 р.), на Міжнародній науково-практичної Інтернет-конференції «Молодь у технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2015 р.), на XII науково-технічній конференції «LOGISTYKA SYSTEMY TRANSPORTOWE BEZPIECZEŃSTWO W TRANSPORCIE» (м. Szczyrk, 20 – 23 квітня 2015 р.), на науковому семінарі в Чехії м. Брно в рамках стажування в університеті «Masaryk», факультет «Інформаційних технологій», у програмі ERASMUS MUNDUS BACKIS, на науковому семінарі кафедри СПЗ ОНПУ «Інтелектуальні системи й сучасні інформаційні технології».

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, у тому числі п'ять статей у журналах з переліку спеціалізованих видань МОН України, 1 стаття в закордонному виданні, 6 – у збірниках наукових праць конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 85 найменувань та 7 додатків. Повний обсяг – 190 сторінок, обсяг основного тексту – 143 сторінки, містить 44 рисунки, 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується важливість і актуальність теми дисертації, викладені мета і задачі досліджень. Сформульовані основні положення і практичні результати, досягнуті в роботі, їх наукова новизна.

В першому розділі проведено аналіз існуючих рішень в галузі контролю й моніторингу, зокрема, знанняорієнтованих систем, засобів їх розробки і особливостей застосування для контролю.

Розглядається поняття контролю об'єктів та різні підходи до класифікації видів контролю. В роботі дослідження проводиться на прикладі систем технічного контролю та систем нагляду за дотриманням вимог електробезпеки. Специфіка розглянутих у роботі видів контролю полягає в тому, що контроль здійснюється зазвичай нерегулярно, тобто при спеціальних перевірках, наприклад, при необхідності

проведення робіт або перевірки стану об’єкту; по відношенню до часу реалізації являє собою попередній контроль та поточний при моніторингу роботи об’єктів.

Для комплексного аналізу об'єктів контролю пропонується використовувати знанняорієнтовані системи, які дозволяють вирішувати проблеми, що є слабоформалізованими, належать до конкретної ПрО, знання про яку зберігаються в пам’яті системи. Розглянуто експертні системи контролю та моніторингу для певних ПрО, зроблено висновок, що кожна з них спрямована на свою галузь, тому актуальною є задача розробки ІТ, що узагальнює процеси створення та супроводу знанняорієнтованих систем контролю для різних ПрО.

На основі проведеного аналізу моделей представлення знань вирішено для контролю використовувати правила-продукції, така модель вигідно відрізняється від інших низьким рівнем складності, універсальністю, високою модульністю, невеликим обсягом необхідної для зберігання пам'яті, близькістю до природної мови, наочністю. Пропонується у висновках правил описувати стани контрольованих об’єктів (нормальний або аварійний), а в посилках – умови, при яких виникають ці стани.

При підготовці правил розробники БЗ зазвичай повинні вивчати та застосовувати спеціальні мови для представлення знань, що зумовлює проблеми як при створенні, так і, що важливіше, при супроводі систем. Тому актуальним є розробка такого візуального середовища, в якому з’являється можливість представляти ПрО в термінах природної мови. Однак робота з правилами у текстовому вигляді утруднена при великій кількості правил, зокрема, вкрай важко відслідковувати взаємозв'язки між правилами. Тому необхідно запропонувати способи графічної візуалізації й інтерактивної роботи із правилами контролю, такий підхід призводить до полегшення розробки систем і можливості оперативного внесення змін.

Актуальною є задача перевірки правил, цими проблемами займались Поспєлов І.Г., Прис А. (A. Preece), Яловець О.Л., Башмаков О.І., Долініна О.Н. та інші. Поспєловим І.Г. запропонований спосіб пошуку протиріч у правилах на етапі тестування БЗ з використанням машини виведення. Однак зроблено висновок, що такого роду перевірки найбільш ефективні на ранніх етапах, коли створюється опис основних понять і зв'язків ПрО. Найбільш популярною є класифікація Приса А. методів статичної верифікації для правил-продукцій без застосування машини виведення. Однак більшість існуючих методів статичної верифікації правил вимагають від користувача додаткової роботи по конструюванню проблемно-орієнтованих обмежень, аналізу виявлених аномалій, зв’язаних з протиріччями та неповнотою БЗ, а також ці методи не виконуються автоматично. Для інших моделей представлення знань, зокрема, логіко-обчислювальної семантичної мережі (ЛОС-мережі), що розроблена Яловцем О.Л., запропоновано методи пошуку аномалій на базі структурного аналізу фрагментів ЛОС, в яких ці недоліки частково вирішені. Отже і для правил контролю треба запропонувати вдосконалені моделі та методи верифікації БЗ.

В другому розділі проведена постановка задачі контролю, представлені вдосконалені моделі правил у вигляді І/АБО-графа й булєвих виразів із урахуванням специфіки задачі контролю та необхідності оперативного внесення змін в правила.

Запропонована функціональна схема знанняорієнтованих систем контролю (рис.1) передбачає введення, корегування й перевірку правил та додавання їх в БЗ за допомогою графічного редактора; на початку розробки цю роботу виконує інженер

по знаннях разом з експертом, але одна з головних вимог до редактора правил полягає в створенні умов для зручної роботи з правилами таким чином, щоб зміна умов контролю на етапі супроводу системи могла виконуватись переважно експертом.

Отримані параметри об'єкта аналізуються із використанням машини виведення та бази правил, і результат передається ОПР для прийняття рішень.

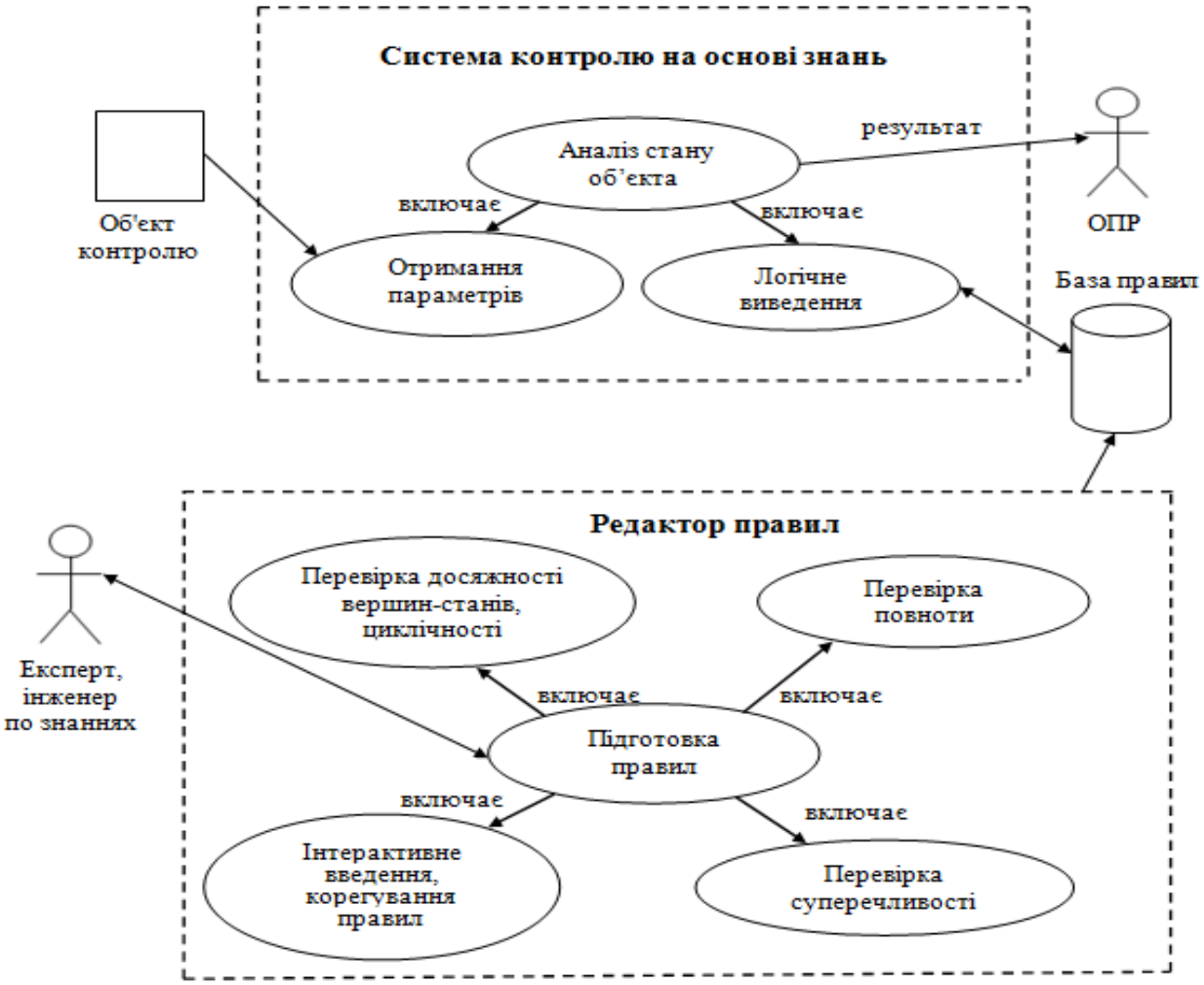

Рисунок 1 – Функціональна схема знанняорієнтованої системи контролю

Побудовано структуру знань для контролю у вигляді синтаксичної моделі: Pz = (I, O, M), де *I* – структура вхідних даних, *O* – структура вихідних даних, *M* – операціональна модель ПрО. M=(S_k,S_f), S_k відображає понятійну структуру ПрО, S_f – функціональну схему, яка моделює схему міркувань експерта. На цій основі виділені особливості знань контролю. Вхідними даними є параметри об'єкта контролю та їх можливі значення, і необхідно заздалегідь відображати понятійну структуру ПрО у вигляді ієрархії понять для того, щоб зменшити кількість помилок при конструюванні правил. Вихідними даними є стани об’єкта, що включають нормальне функціонування й аварійні. Якщо відслідковуються кілька аварійних станів, то пропонується розбити знання на групи, кожна з яких описує один аварійний стан; якщо збільшується обсяг груп, то для зручності роботи та для можливості розподілу процесу створення знань між різними спеціалістами правила пропонується розділити на семантично близькі підгрупи. Функціональна схема представляється в вигляді правил, що зв’язують значення вхідних параметрів зі станами об’єкта.

З метою візуалізації правил та інтерактивної роботи з ними запропоновано використовувати І/АБО-граф, що являє собою орієнтований граф без циклів, всі вершини його розділені на три непересічних класа: «І»-вершина, «АБО»-вершина, кінцеві (або цільові) вершини, тому що при візуалізації цього графа зручно відслідковувати умови й висновки кожного правила, а також їх зв'язки. Для поліпшення подальшої обробки правил, а також у зв’язку з використанням для контролю запропоновано удосконалити модель правил у вигляді орієнтованого І/АБО-графа додаванням спеціальної розмітки графа, елементи якої перелічені нижче.

1) Вершинам, що відповідають посилкам правил, тобто можливим значенням вхідних параметрів об'єкта, при необхідності вказують їх властивості, а саме помічаються два або більше взаємно-протилежних значень для параметра, а для нечітких параметрів задаються нечіткі змінні за допомогою нечітких множин.

2) Вершини, що відповідають стану об’єкта, помічаються. Кожна група правил відображається у вигляді окремого графа та містить одну вершину цього типу.

3) Дуги мають мітки, що є номерами правил, це дозволяє перетворити шляхи в графі, які відповідають правилам, у логічні вирази для їх застосування надалі.

Запропоновано два способи візуалізації І/АБО-графа: для першого способу відповідно до правил з'єднуємо всі посилки кожного правила між собою й з висновком, такий спосіб пропонується використовувати, якщо в групі правил присутні лише термінальні правила, у виводах яких присутній стан об’єкту, і всі посилки зв’язані між собою операцією «І» (рис. 2а); другий спосіб: з’єднуємо вершини-посилки для кожного правила з вершиною-висновком (рис. 2б і 5). На рис. 2 $c_{i,j}$ – це j-а посилка і-го правила, p_i – кон'юнкція посилок правила і.

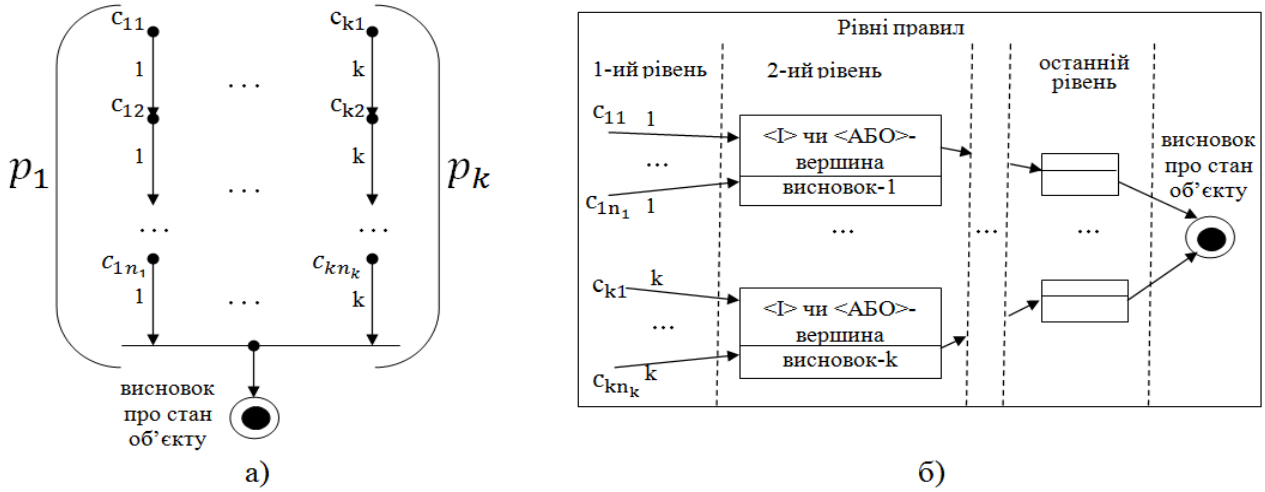

Рисунок 2 – Два способи візуалізації І/АБО-графа:
а) 1-ий спосіб візуалізації; б) 2-ий спосіб візуалізації

Завдяки візуалізації правил у формі І/АБО-графа для введення й корегування вершин і дуг, збереження у файлі й зчитування з файлу, інженер по знаннях і експерт отримують можливість виявляти і виправляти помилки як у текстовому вигляді, так і безпосередньо в графі. Ці форми представлення правил застосовуються одночасно, та автоматично відбувається перетворення з однієї форми в іншу. По результатах структурування знань правила конвертуються в мову продукційного програмування для подальшого використання в знанняорієнтованих системах.

Вдосконалена модель для правил контролю у вигляді І/АБО-графа відрізняється від існуючої додаванням розмітки із елементів трьох типів, що помічають спеціальні властивості правил і дозволяють оперативно вносити зміни в умови контролю.

Запропонована математична модель правил контролю у вигляді логічних булєвих виразів, що забезпечує перетворення і перевірку правил.

Для простоти викладу приймемо, що всі посилки зв'язані операцією «І». А якщо у правилі є одна або декілька «АБО»-вершин, то його можна розділити на кілька правил, що містять тільки «І»-вершини. Таке перетворення можна зробити завжди, тому що завжди з будь-якої булєвої формули можна одержати ДНФ. Також, якщо в підгрупі є нетермінальні правила, то їх можна вилучити на основі включення посилок в термінальні правила, для цього використовується мінімізація булєвих формул і одержання МДНФ. Таким чином, усі правила підгрупи при правильній побудові мають той самий висновок, а також посилки всіх правил зв'язані відношенням «І».

Формально такого роду правила можна записати наступним чином:

$$p_1 \to \overline{w},\ p_2 \to \overline{w},\ \dots,\ p_k \to \overline{w} \qquad (1)$$

де k – кількість правил, p_i – кон'юнкція посилок правила i, (i=1,…,k), $p_i = c_{i,1} \wedge c_{i,2} \wedge \dots \wedge c_{i,j} \wedge \dots \wedge c_{i,n_i}$, де $c_{i,j}$ – j-а посилка i-го правила (j=1,…,n_i), $\overline{w}$ – висновок, який відповідає аварійному станові (для системи з електроустановок вказує на неприпустимість виконання роботи), w – нормальний стан (роботи виконувати можна). Такий набір правил назвемо «прямим». Слід зазначити, що (1) отримані у результаті мінімізації формул, що відповідають правилам, тобто при цьому виявляються різні типи надмірності: усувається ієрархія правил, знаходяться і видаляються повторювані елементи, пов'язані з помилками при побудові. Отже, отримано *k* булєвих формул. Далі об'єднаємо ці булєві формули в одну:

$$p_1 \vee p_2 \vee \dots \vee p_k \to \overline{w} \qquad (2)$$

У роботі наведено доказ еквівалентності формул (1) і (2) для правил контролю.

В наведених нижче формулах B – це висновок правил.

Твердження 1 Якщо $p_1 \to B$ і $p_2 \to B$, то $p_1 \vee p_2 \to B$

Це означає, що якщо є кілька правил у БЗ, і висновок у них один той же, то з диз'юнкції посилок випливає той самий висновок. Таким чином, показана правомірність перетворення набору правил у булєву формулу $p_1 \vee p_2 \vee \dots \vee p_k \to \overline{w}$.

Далі, можливо з булєвої формули (2) одержати формулу, що містить еквівалентність:

$$p_1 \vee p_2 \vee \dots \vee p_k \leftrightarrow \overline{w} \qquad (3)$$

У роботі наведено доказ еквівалентності формул (2) і (3) для правил контролю.

Твердження 2

Якщо $p_1 \to B$ і $p_2 \to B$ і $\overline{p_1} \wedge \overline{p_2} \to \bar{B}$, то $(p_1 \vee p_2 \leftrightarrow \text{В}) \vee (\overline{p_1 \vee p_2} \leftrightarrow \bar{B})$

Твердження 2 більш «сильне», ніж Твердження 1: якщо є кілька правил, і висновок у них той самий, а також, якщо з того, що всі правила невірні, випливає, що й загальний вивід невірний, то диз'юнкція посилок еквівалентна висновку.

Таким чином, сукупність правил підгрупи представлена у вигляді логічної формули, що являє собою еквівалентність, ліва частина формули – диз'юнктивна нормальна форма (ДНФ): $p_1 \vee p_2 \vee \dots \vee p_k \leftrightarrow \overline{w}$.

Далі з формули (3) на основі Твердження 2 одержано й так звану «інверсну» формулу:

$$\overline{p_1 \vee p_2 \vee \ldots \vee p_k} \leftrightarrow w \quad (4)$$

«Інверсна» булєва формула (4) може бути перетворена в декілька булєвих формул, що відповідають «інверсному» набору правил:

$$p_1' \rightarrow w,\ p_2' \rightarrow w, \ldots, p_l' \rightarrow w \quad (5)$$

де l – кількість «інверсних» правил.

У роботі наведено доказ еквівалентності формул (4) і (5) для правил контролю.

Твердження 3

Якщо $\overline{p_1 \vee p_2 \vee \ldots \vee p_k} \leftrightarrow \bar{B}$, то переведенням лівої частини еквівалентності до ДНФ, одержимо $p_1' \vee p_2' \vee \ldots \vee p_l' \leftrightarrow \bar{B}$, звідси $p_1' \rightarrow \bar{B}$, $p_2' \rightarrow \bar{B}$,…, $p_l' \rightarrow \bar{B}$.

Таким чином, з «прямих» правил, що відповідають (1) і містять той самий висновок, правомірно одержувати так звані «інверсні» правила (5), у яких висновок зворотній щодо вхідних правил. «Інверсні» правила означають, що при виконанні посилок правил стан системи нормальний (роботи виконувати можна), а інакше – аварійний стан.

Вдосконалена модель для групи правил контролю у вигляді булєвих виразів відрізняється від існуючої тим, що, на відміну від загального випадку, усі правила групи мають один висновок; і це дало можливість одержати формули (1)-(5) для «прямих» і «інверсних» правил, які використовуються при побудові методів перевірки правил знанняорієнтованих систем контролю.

У третьому розділі представлені розроблені методи для перевірки повноти правил контролю, суперечливості та досяжності станів об'єктів.

Розроблено метод перевірки суперечливості посилок правил контролю, як протиріч між посилками усередині одного правила, так і між посилками різних правил. В суперечливій системі із тих самих посилок може випливати як і деяке твердження, так і його протиріччя. Такі помилки призводять до неправильних висновків при використанні БЗ.

Основу метода складає задача про здійсненність булєвих формул SAT (SAtisfiability problem). Задача SAT дає відповідь на запитання: чи може бути булєва формула істинна хоча б при одному наборі значень змінних, якщо відповідь – так, то булєва формула здійсненна, інакше – нездійсненна. При перевірці суперечливості подаємо на вхід SAT ліві частини формул (1), (3) і (4), що містять посилки правил, і якщо результат SAT для «прямих» правил false, це означає, що ні при яких значеннях вхідних параметрів правила не спрацюють (приклад 1 таблиці 1). Для «інверсних» правил, якщо результат SAT false, це означає, що «прямі» правила спрацюють завжди при будь-яких значеннях вхідних параметрів, і це означає тавтологію (приклади 2 і 3 таблиці 1). У всіх розглянутих випадках присутні протиріччя в посилках.

Використовується необмежена SAT, тому що кількість літералів у формулах у загальному випадку неоднакова, а залежить від кількості посилок у правилах.

Запропонований метод перевірки посилок правил контролю на суперечливість включає три етапи (рис. 3). Перевірка завершується на першому етапі, якщо усередині кожного правила існують протиріччя посилок. Перевірка другого етапу

завершується, якщо існує протиріччя посилок усередині хоча б одного правила. На третьому етапі перевіряються протиріччя між посилками двох або декількох правил.

Таблиця 1 – Приклади перевірки посилок правил на несуперечність

	Приклад 1	**Приклад 2**	**Приклад 3**
Правило(а)	Якщо U>1000В та U≤1000В, то роботи виконувати не можна	Якщо U>1000В, то роботи виконувати не можна Якщо U≤1000В, то роботи виконувати не можна	Якщо U>1000В і бригада менше трьох осіб, то роботи виконувати не можна Якщо U≤1000В, то роботи виконувати не можна Якщо бригада більше або дорівнює 3-м працівникам, то роботи виконувати не можна
Позначення посилок	**a** - U>1000В	**a** - U>1000В	**a** - U>1000В, **b** – бригада менше трьох працівників
Булєва формула «пряма»/ «інверсна»	$a \wedge \bar{a} \rightarrow SAT$	$\overline{av\bar{a}} \rightarrow SAT$	$\overline{\boldsymbol{ab} \vee \overline{\boldsymbol{a}} \vee \overline{\boldsymbol{b}}} = \overline{\boldsymbol{ab} \vee \overline{\boldsymbol{ab}}} \rightarrow \boldsymbol{SAT}$
Результат задачі SAT	**завжди = FALSE**	**завжди = FALSE**	**завжди = FALSE**
Вердикт	***Правило ніколи не виконується, видаляємо***	***Система правил не має сенсу, правила спрацьовують завжди***	***Потрібно виправляти правила, спрацьовують завжди***

Метод перевірки посилок правил на суперечливість дозволяє знаходити як протиріччя, що були привнесені при конструюванні правил для знанняорієнтованих систем, так і присутні в оригінальних текстах, зокрема, у нормативних документах.

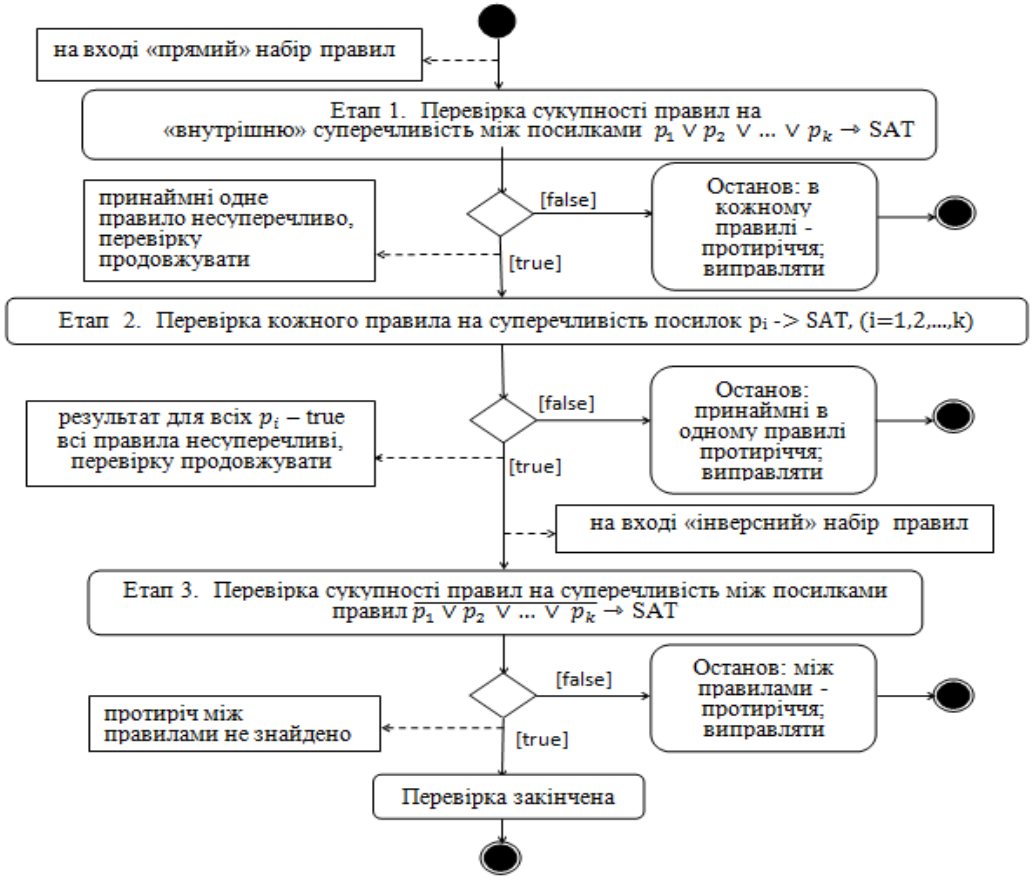

Рисунок 3 – Етапи методу перевірки посилок правил контролю на суперечливість

Перевірка суперечливості посилок правил проводиться автоматично з урахуванням специфіки задачі контролю.

Запропоновано метод перевірки правил на повноту на основі булєвих виразів (1) і (5), що відповідають «прямому» набору правил, і протилежному за змістом «інверсному» (рис. 4). Експерт має можливість роботи з двома візуальними варіантами правил у вигляді відповідних І/АБО-графів: 1) умови, при яких стан об'єкта контролю аварійний; 2) умови, при яких стан об'єкта в нормі. На основі такого перегляду експерт може оцінити, яких правил не вистачає, або в яких правилах не повністю задані посилки.

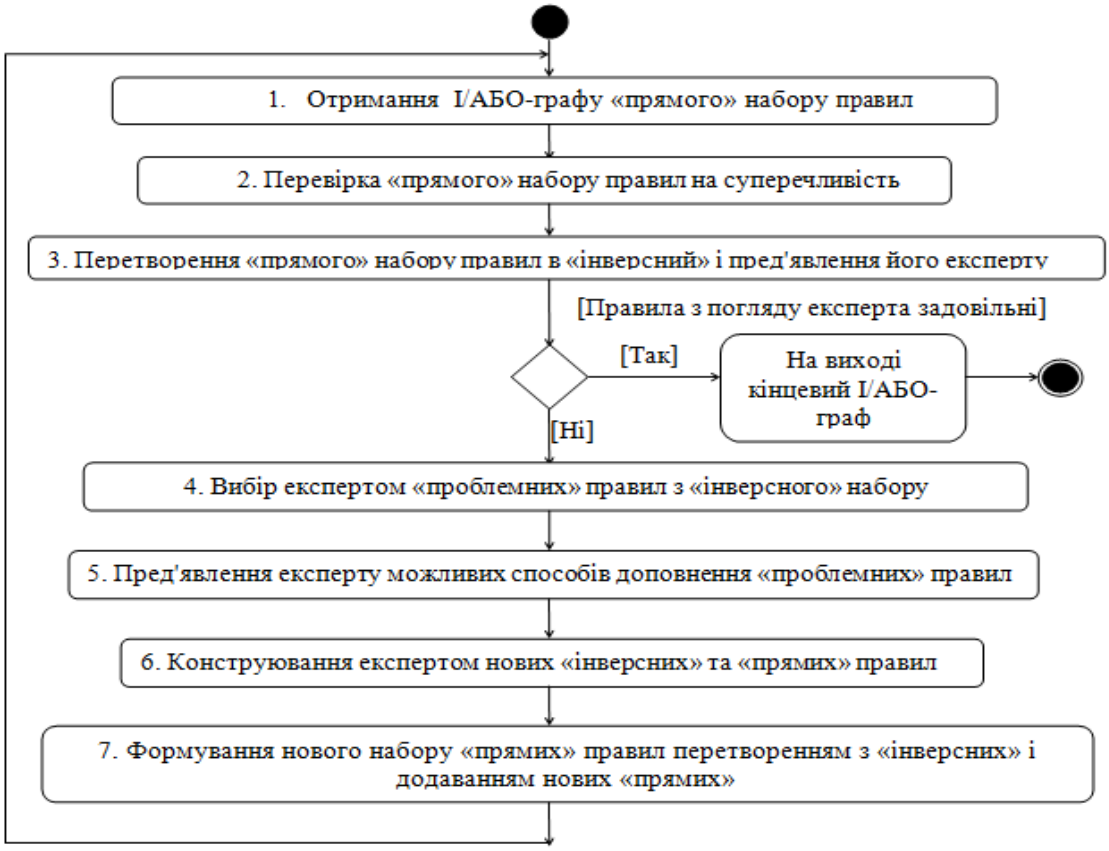

Рисунок 4 – Етапи методу перевірки правил на повноту

Запропонований метод працює аналогічно методу доказу «від супротивного», який проводиться у такий спосіб: для доказу твердження A припускають, що воно невірно, тобто вірно $\bar{A}$, потім доводять, що з $\bar{A}$ випливає деяке невірне твердження B. У запропонованому методі в якості A виступає «прямий» набір правил, $\bar{A}$ – «інверсний» набір, B – «інверсне» правило, яке з погляду експерта невірне.

В таблиці 2 показано приклад бази знань, що не містить правила, де мова йде про напругу менш 1000в та про інші види робіт, крім, зняття показань приладів обліку, тому «інверсне» правило говорить про те, що при цих умовах роботи виконувати можна. Але в нормативних документах присутні правила й при таких умовах, таким чином «інверсне» правило нагадує експерту про неповноту знань у базі.

Відзначимо, яким чином проводиться допомога в конструюванні нових правил: для кожного проблемного правила система показує всі можливі способи доповнення; експерт формує й «прямі», і «інверсні» правила, додаючи з його погляду правильні пропоновані посилки й відзначає, що при таких посилках буде відбуватися:

аварія або нормальний стан об'єкта; автоматично з виправлених «інверсних» правил формуються «прямі»; автоматично перевіряється суперечливість посилок отриманих «прямих» правил; отримані «прямі» правила пред'являються експертові, у випадку протиріч видається повідомлення. Така робота з конструювання правил проводиться ітераційно, поки експерт не буде впевнений у повноті побудованого набору правил.

Метод перевірки правил контролю на повноту дозволяє експертові доповнювати знання для контролю новими правилами або посилками для існуючих правил.

Запропоновано метод для перевірки досяжності в правилах станів об'єктів контролю. Правила, тобто підграф, з якого недосяжні вершини станів, доцільно виявляти й видаляти, тому що для контролю станів об'єктів вони не використовуються. Такі правила візуалізуються на І/АБО-графі, а також у теорії графів існують методи знаходження компонент зв’язності для орієнтованих графів, і якщо в одному з компонентів немає вершини для стану об'єкта, то такий компонент видаляється.

Таблиця 2 – Приклад виявлення неповноти набору правил

Результати поетапної перевірки	**Приклад**
Булєва формула для правил, що залежать від зовнішніх умов (роботи виконувати не можна)	$ade \vee ad\bar{e}f \vee cdg \vee bhig \vee cje \vee aje$
Булєва формула для «інверсних» правил (роботи виконувати можна)	$\overline{ade \vee ad\bar{e}\bar{f} \vee cdg \vee \bar{b}hig \vee cje \vee aje}$
Одне з «інверсних правил» після перетворення в ДНФ	$bh \vee b\bar{\imath} \vee b\bar{g} = b(h \vee \bar{\imath} \vee \bar{g})$
Позначення посилок	**b** – приміщення без підвищеної небезпеки; **h**– тип робіт - зняття показань приладів обліку; **i**– U>1000в; **g** – кваліфікація кожного працівника бригади < 3;
«Інверсне» правило природною мовою	Якщо приміщення без підвищеної небезпеки та тип робіт - не зняття показань приладів обліку або U<1000в або кваліфікація одного з робітників >= 3, то виконувати роботи можна
Неповнота	У вихідній базі немає інформації про правила для інших видів робіт і для напруги U <1000в. Перевірити нормативні документи на наявність таких правил.

Однак для кожної групи правил контролю перевірка досяжності із правила вершини стану об'єкта спрощується, і метод складається з двох етапів: 1) одержання з І/АБО-графа булєвих виразів для кожного правила, тобто формули (1); 2) якщо в якому-небудь булєвому виразі права частина імплікації не буде містити змінну, відповідну стану об'єкта контролю, то це буде означати, що існує правило, в якому вершина для стану об'єкта недосяжна.

Удосконалений метод перевірки досяжності в правилах станів об'єктів контролю відрізняється від існуючих тим, що заснований на розробленій моделі правил контролю у вигляді булєвих виразів, і дозволяє видаляти правила, що не беруть участь у ланцюгу вивода при визначенні станів об’єктів контролю.

При аналізі складності алгоритмів для запропонованих методів робиться висновок, що розв'язувані задачі на основних етапах перетворення булєвих формул є NP-повними, але це не є обмеженням для їхнього застосування, тому що такого роду перетворення відбуваються не на етапі контролю, коли із системою працює кінцевий користувач, а при підготовці правил, і кожна група (підгрупа) містить зазвичай від 6 до 15 правил, що забезпечує наочність при роботі.

У четвертому розділі представлена розроблена ІТ створення і супроводу знанняорієнтованих систем контролю з використанням інструментального засобу у вигляді редактора правил (табл.3); описано створення двох діючих прототипів ЕС на основі ІТ, проведено аналіз результативності розроблених методів і систем.

Таблиця 3 – ІТ розробки і супроводу знанняорієнтованих систем контролю

Базова ІТ	Прикладна ІТ для систем контролю
*Етап 1.*Одержання знань – аналіз ПрО – виділення понять – доцільність розробки знанняорієнтованої системи	– складання словника ПрО – виявлення параметрів об'єктів контролю – вибір станів, що відслідковуються – визначення доцільності розробки відповідно до критеріїв з базової ІТ
Етап 2. Структурування – наочне представлення і декомпозиція понять та взаємозв'язків у вигляді графа, таблиці або тексту	– побудова ієрархії понять для ПрО, розділення правил на термінальні й проміжні – розподіл знань на групи по станах об'єкта, використовується одна група для кожного стану; при великому обсязі групи розділення її на підгрупи – побудова правил природною мовою й у вигляді І/АБО-графа з можливістю перетворення з однієї форми в іншу (в редакторі правил) – автоматизована перевірка правил на несуперечність, повноту, досяжність станів, циклічність (в редакторі правил)
Етап 3 Формалізація знань – представлення знань у форматі, що використовується машиною виведення	– автоматичне перетворення кожної групи (підгрупи) правил у мову продукційного програмування з урахуванням зменшення часу логічного виведення за рахунок оптимального призначення пріоритетів правилам
Етап 4 Кодування	– вибір готової машини виведення або розробка власної та її настройка – доробка кожної групи (підгрупи) відповідно до отриманих правил на етапі формалізації – об'єднання груп (підгруп) правил у загальну модульну структуру з урахуванням частоти помилок та спрацьовування у двох режимах: 1) до першої невідповідності; 2) повна перевірка – інтеграція БЗ та машини виведення з двома компонентами системи контролю: - першим – для настроювання режимів та отримання параметрів з об'єкту контролю, - другим – для видачі результатів роботи і організації графічного інтерфейсу з користувачем
Етап 5 Тестування	– налагодження кожної групи правил: тестування усіх умов для аварійних станів, а також умов нормальної роботи – налагодження модульної структури, що отримана внаслідок об'єднання груп (підгруп) правил – інтеграційне тестування системи контролю
Етап 6 Супровід	– зміна правил контролю (в редакторі правил)
Етапи 1-6 виконуються ітераційно, поки система не задовольнить вимогам користувача	

Базова технологія орієнтована на створення будь-яких знанняорієнтованих систем; запропонована ІТ деталізує базову із урахуванням особливостей задачі контролю і ґрунтується на моделі представлення знань у вигляді правил та на запропонованих моделях й методах. Перенос етапу тестування знань на ранні етапи

розробки дає можливість оперативно вносити зміни у правила за декілька годин, у той час як зазвичай внесення змін займає не менше кількох діб.

ІТ розрахована в повному обсязі на створення систем, за допомогою яких проводиться аналіз чітких параметрів об'єкта контролю. Однак, якщо параметри нечіткі, зокрема, у випадках, коли числові параметри об’єктів поступають з датчиків, а потім проходять етап фазифікації, то більша частина етапів ІТ виконується повністю. Тільки перевірка нечітких посилок правил на суперечливість може бути виконана заміною на час перевірки нечітких посилок на чіткі, тому що задача SAT не працює з нечіткими булєвими формулами. Набір нечітких умов правил представляється в І/АБО-графі додатковим завданням нечітких змінних для вершин за допомогою нечітких множин. Для перевірок правил з нечіткими змінними застосовуються існуючі нечіткі аналоги операцій І, АБО, НІ і метод мінімізації нечітких булєвих формул.

Розроблена ІТ систем контролю на базі створених моделей і методів потребує спеціального програмного забезпечення та інформаційної підтримки, в зв’язку з чим реалізовано інструментальний засіб, що являє собою редактор правил, із застосуванням мови програмування Java і середовища розробки IntelliJ IDEA. Функції системи обумовлені змістом етапів, де редактор застосовується, а саме, редактор дозволяє: будувати правила природною мовою й у вигляді І/АБО-графа з можливістю конвертації, автоматизовану перевірку правил на несуперечність, повноту, циклічність; всі дії користувача та результати відображаються в спеціальному вікні логів, в якому також позначені групи правил та групи взаємно-протилежних вершин. На рис.5 представлено головне вікно редактора правил.

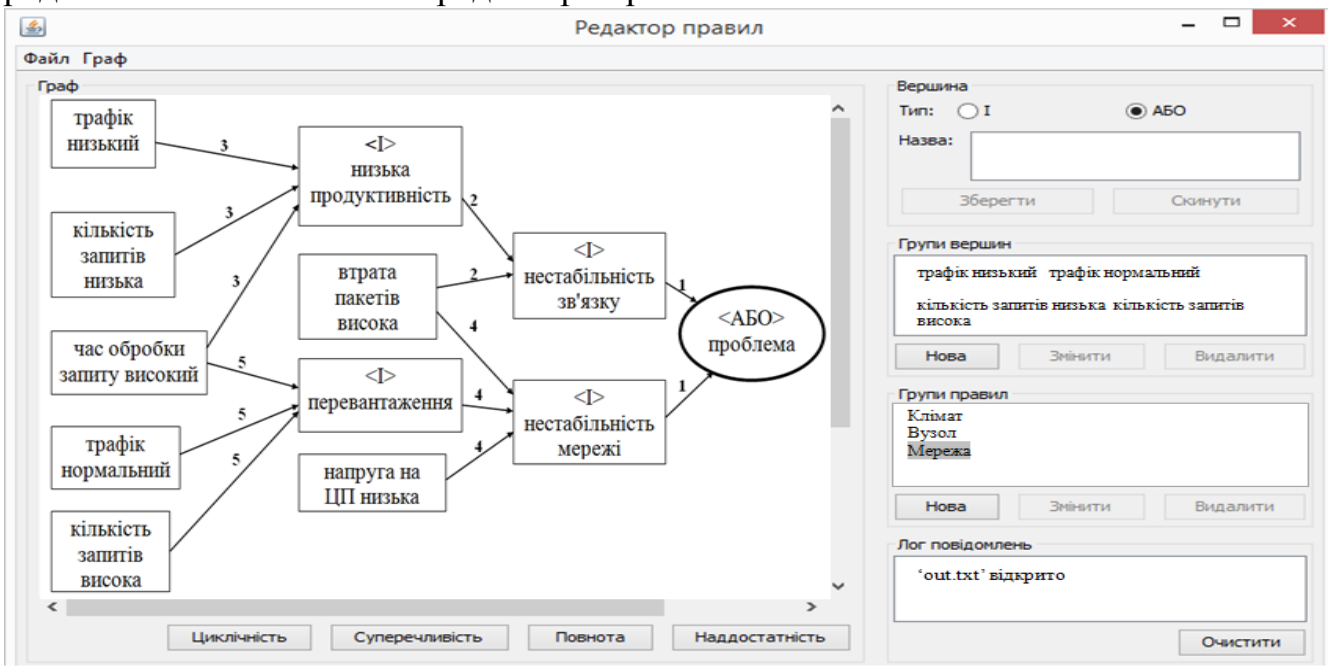

Рисунок 5 – Головне вікно розробленого редактора правил

За допомогою ІТ й редактора правил розроблені БЗ та діючи прототипи ЕС для двох ПрО: контролю і моніторингу безпечної роботи з електроустановками й роботи комп'ютерних мереж. Для ПрО «Безпечна робота з електроустановками» проведений аналіз систем контролю й виявлено, що існуючі системи для диспетчерів енергосистем спрямовані на розв'язок завдань управління енергосистемою в цілому, а систем для допомоги диспетчеру в рішенні питань безпеки виконання робіт не

знайдено. Зроблено висновок, що необхідно автоматизувати використання існуючих наразі тільки в документах правил безпеки при роботі з електроустаткуванням, які є критеріями для прийняття рішень, для видачі рекомендацій диспетчеру.

Створення обох ЕС базується як на знаннях експертів, так і на текстах нормативних документів. Основні етапи зумовлені запропонованою ІТ: 1) Із текстів за допомогою стороннього вільно розповсюджуваного інструментального засобу автоматично отримані словники термінів. 2) Побудована понятійна структура ПрО, що містить параметри об’єктів та зв’язки між ними. Визначено, що для безпечної роботи з електроустановками аварійний стан один – «не можна виконувати роботи», і таким чином, усі правила належать одній групі; для ПрО контролю роботи комп'ютерної мережі також аварійний стан один – «проблема в мережі». Вирішено групу для кожної ПрО розбити на підгрупи (5 і 3 підгрупи відповідно) у зв'язку з великим обсягом правил. Для кожної підгрупи побудовані правила природною мовою й паралельно І/АБО-графи, проведено перевірку правил з використанням розробленого редактора правил. 3) На етапі формалізації підгрупи правил автоматично переведені в мову продукційного програмування Clips. 4) Проведено налаштування машини виведення середовища Clips та об’єднання підгруп правил у загальну модульну структуру у двох режимах; розроблені компоненти для отримання параметрів та графічний інтерфейс з користувачем за допомогою мови програмування С++ і проведена їх інтеграція з машиною виведення та базами правил. 5) Виконано модульне та інтеграційне тестування. Таким чином, показано, що запропонована ІТ дозволяє систематизовано будувати як БЗ, так і знанняорієнтовані системи для різноманітних ПрО.

ЕС застосовувались на першому етапі при навчанні, а потім на другому – для прийняття рішень за результатами контролю (рис. 6).

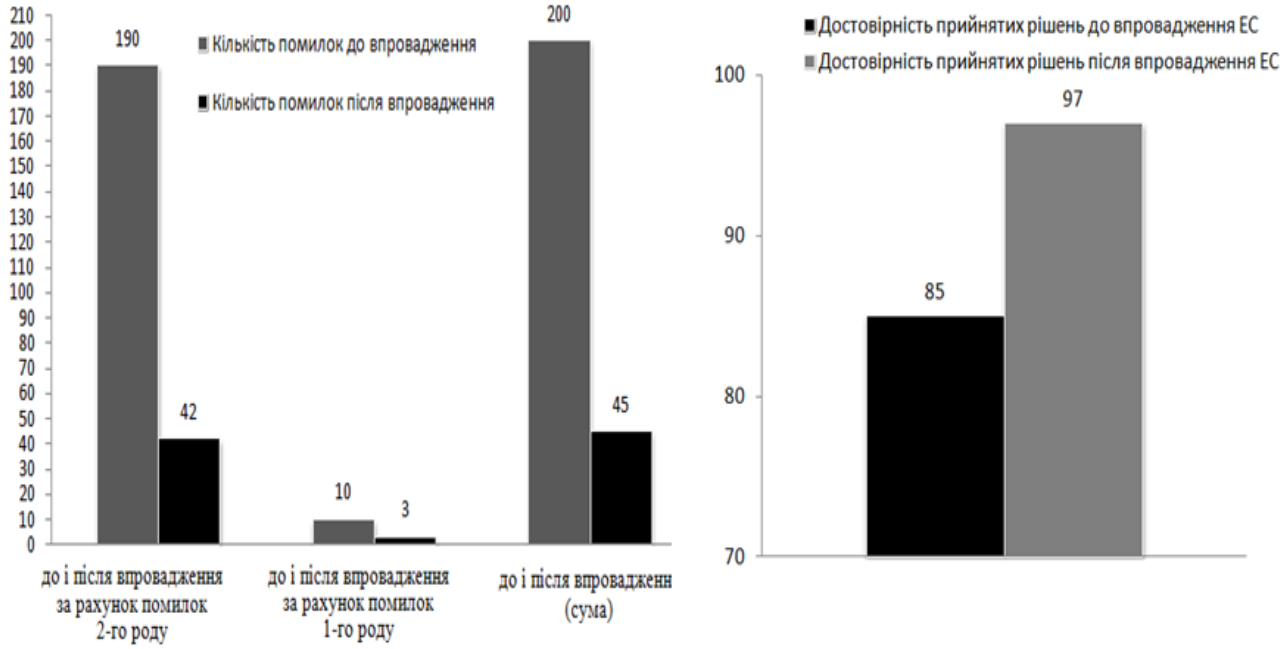

Рисунок 6 – Достовірність прийнятих рішень до і після впровадження ЕС

На першому етапі редактор правил та ЕС застосовувались для навчання ОПР, а саме системних адміністраторів мережі та диспетчерів з безпечної роботи з

електроустановками, а також студентів ОНПУ. Порівняно з традиційною методикою час навчання знизився на 20% при збереженні рівня якості. Під час роботи з редактором правил при перевірці на суперечливість створюваних правил помилки виявлялися й виправлялися в середньому в 10% правил, при перевірці на досяжність станів вилучено в середньому 5% невірних правил, при перевірці повноти база правил була збільшена в середньому на 12%.

На другому етапі впровадження ЕС контролю безпечної роботи з електроустановками використовувалась в складі АРМ диспетчера організації, що експлуатує електричні мережі. Проведено експерименти (рис. 6): протягом двох місяців оцінювалась достовірність контролю як процент правильно прийнятих диспетчером рішень (правильність рішень оцінювалась експертом) до впровадження ЕС та двох місяців після й зроблено висновок, що достовірність контролю збільшилась на 12%, в тому числі, за рахунок помилок 2-ого роду – на 11% і 1-ого роду – на 1%, а кількість нещасних випадків за той же період часу зменшилась на 32%.

ВИСНОВКИ

У дисертації розроблені й науково обґрунтовані нові моделі, методи й ІТ розробки знанняорієнтованих систем контролю. Основні результати роботи наступні:

1. За результатами аналізу існуючих систем контролю і моніторингу з метою безаварійного функціонування об’єктів і необхідністю оперативного внесення змін в правила контролю показано доцільність для комплексного аналізу об’єктів розробки знанняорієнтованих систем на основі правил. Але через протиріччя між можливостями інтелектуальних систем, основаних на знаннях, та недосконалістю підтримки ведення БЗ та розробки систем зроблено висновок про те, що актуальним є автоматизація процесу створення та підтримки знанняорієнтованих систем контролю.

2. Визначення особливостей структури знань для контролю дозволило розбити правила на групи, в яких у висновках присутній один стан об’єкту, що відслідковується. Наведений спосіб дозволяє обробляти правила на ранніх етапах проектування.

3. Із запропонованої спеціальної розмітки І/АБО-графа в якості моделі групи правил контролю для побудови, візуалізації, інтерактивної роботи із правилами випливає можливість обробки правил методами теорії графів і математичної логіки, а також розробки методів перевірки правил.

4. З використанням запропонованої моделі правил контролю у вигляді булєвих виразів, які представляють «прямий» і «інверсний» набори правил для аварійних і нормального станів об'єктів, розроблено методи перевірки правил.

5. В результаті розробленого методу перевірки суперечливості посилок правил контролю на основі задачі SAT стає можливою перевірка протиріч між посилками кожного правила й між правилами; при проведенні експериментів такого роду помилки виявлялися й виправлялися в середньому в 10% правил.

6. Запропонований метод перевірки правил контролю на повноту на основі візуалізації для експерта «інверсних» правил дозволяє експертові оцінити, яких правил не вистачає; при проведенні експериментів база знань задля поповнення її відсутніми правилами була збільшена в середньому на 12%.

7. Створення методу перевірки досяжності в І/АБО-графі вершин для станів об’єкту контролю дозволило на цій основі здійснювати пошук й видалення компонент зв’язності, що не містять такого роду вершин; при проведенні експериментів вдалося вилучити в середньому 5% правил, що містили помилки такого роду.

8. При застосуванні розробленого редактору правил контролю для забезпечення їх створення та редагування можливо візуалізувати правила, інтерактивно їх розробляти й перевіряти; запропонована ІТ для створення та супроводу знанняорієнтованих систем контролю і редактор правил дали можливість розробки та перевірки правил на ранніх етапах, що забезпечує оперативну зміну правил за декілька годин, у той час як внесення змін у програмний код займає не менше кількох діб.

9. Розроблений на базі ІТ діючий прототип ЕС контролю безпечної роботи з електроустановками містить 54 правила в п’яти підгрупах, а діючий прототип ЕС контролю за роботою комп'ютерної мережі – 32 правила в трьох підгрупах.

10. Створені ЕС застосовуються на першому етапі для навчання, на другому – для допомоги при прийнятті рішень за результатами контролю. ЕС дає можливість зменшити час навчання в порівнянні із традиційними методиками на 20%. При проведенні експериментів на другому етапі при використанні для безпечної роботи з електроустановками достовірність прийнятих диспетчером рішень збільшилась на 12% у порівнянні з періодом, коли диспетчер приймав рішення без її допомоги, а кількість нещасних випадків за той же період часу зменшилась на 32%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Тройнина, А. С. 3D-визуализация положений датчиков для принятия решений [Текст] / Тройнина А. С., Рувинская В. М., Туршатов И. А.// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2011. – №13 (167). – С. 189–194.

Видання відображається в Google Scholar.

2. Тройнина, А. С. Методика построения экспертных систем для мониторинга [Текст] / А. С. Тройнина, В. М. Рувинская // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2012. – №6(58). – С. 276 – 280.

Публікація включена до FreeFullPDF. Видання відображається в eLIBRARY.RU, Index Copernicus, INSPEC IDEAS та Google Scholar.

3. Тройніна, А. С. Редактор знань для експертних систем моніторингу [Текст] / А. С. Тройніна, В. М. Рувінська, М. С. Ніколенко // Вестник Херсонского национального технического университета (ХНТУ). – 2013. – №1(46) – С. 183– 185.

Публікація включена до FreeFullPDF, РИНЦ.

4. Тройнина, А. С. Автоматизация проверки правил ЭС для мониторинга работы компьютерной сети [Текст] /А. С. Тройнина, В. М. Рувинская, Е. Л. Беркович, А. Ю. Черненко //Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – №14(90). – С.94 – 104.

Публікація включена до SCIRUS. Видання відображається в eLIBRARY.RU, Index Copernicus, INSPEC IDEAS та Google Scholar.

5. Troynina, A. Rules of Expert System for Safety Monitoring: Checking on Completeness and Consistency [Текст] /A. Troynina, V. Ruvinska, E. Berkovich, A. Bilovzorov // Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. – Вип.2(46). – С. 103 – 110.

Видання відображається в Citefactor, CrossRef, EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Polish Scholarly Bibliography, Ulrich's Periodicals Directory, Universal Impact Factor.

6. Troynina, A. Wsparcie informatyczne procesów podejmowania decyzji podczas obsługi kontenerów chłodniczych w portach morskich [Текст] / A. Troynina, L. Filina-Dawidowicz // Logistyka . 2015. – № 4. – S. 3181-3191.

Видання відображається в Index Copernicus, Polish Scholarly Bibliography.

Праці апробаційного характеру

7. Тройнина, А. С. Экспертная система по безопасной работе с электроустановками [Текст] / А. С. Тройнина, В. М. Рувинская, Л. В. Беркович // Труды двенадцатой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, 23-27 мая 2011 г. – С.78.

8. Тройнина, А. С. Объединение групп правил при работе экспертной системы мониторинга [Текст] / А. С. Тройнина // Труды тринадцатой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 4-8 июня 2012 г. – С. 133.

9. Тройніна, А. С. Мониторинг и анализ показателей работы компьютерной сети на основе баз знаний [Текст] / А. С. Тройнина, В. М. Рувинская // Сучасні інформаційні технології: Матеріали четвертої міжнародній конференції студентів і молодих науковців (МІТ-2014). – Одеса, 2014. – С.42 – 43.

10. Тройнина, А. С. Словарь предметной области для разработки экспертной системы [Текст] / А. С. Тройнина, В. М. Рувинская, Д. А. Силяев// Труды Международной научно технической конференции «Информационные технологи в металлургии и машиностроении». – Днепропетровск, 24 – 26.03.2015. – С. 44.

11. Тройніна, А. С. Експертна система для аналізу даних мережевого моніторингу [Электронный ресурс] / А. С. Тройніна, В. М. Рувінська, О. О. Біловзоров //Труди Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи. – Вінниця. – Режим доступа: http://conf.inmad.vntu.edu.ua/fm/index.php?page=materials&line=11&mat=188 / – 23 – 26 квітня 2015р. – Загл. с экрана.

12. Тройнина, А. С. Экспертные системы в качестве тренажера для обучения ЛПР [Текст] / А. С. Тройнина // Труди першої міжнародної конференції з адаптивних технологій управління навчанням – 2015. – Одеса, 23–25.09.2015. – С.147 – 148.

АНОТАЦІЯ

Тройніна А. С. Моделі, методи та інформаційна технологія створення та супроводу знанняорієнтованих систем контролю. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук за фахом 05.13.06 – інформаційні технології – Одеський національний політехнічний університет МОН України, Одеса, 2016.

Метою дослідження є підвищення достовірності контролю, а також надання можливості оперативного внесення змін до правил за рахунок розробки нових моделей, методів та ІТ створення і супроводу систем контролю на базі знанняорієнтованого підходу.

Для автоматизації аналізу станів об'єктів використані правила для представлення знань, а для їх відображення, інтерактивної обробки та перевірки вдосконалені моделі правил у вигляді І/АБО-графа й булєвих виразів. Розроблено метод перевірки суперечливості посилок правил контролю на основі задачі SAT, метод перевірки правил контролю на повноту на основі візуалізації поряд з вхідними й «інверсних» правил та автоматизованої генерації доповнених правил, метод перевірки досяжності в І/АБО-графі вершини стану. На цій основі запропоновано ІТ з використанням редактора правил для розробки знанняорієнтованих систем контролю, що дозволило оперативно змінювати правила контролю в середньому протягом декількох годин. Створені діючі прототипи ЕС для контролю роботи мережі, а також для дис.-петчера, що регулює безпечне виконання робіт з електроустановками, що дало можливість підвищити достовірність прийнятих диспетчером рішень на 12%, кількість нещасних випадків за розглянутий проміжок часу знизилася на 32%. ЕС при їх використанні для навчання диспетчерів та системних адміністраторів дозволили зменшити час навчання на 20% при збереженні рівня якості.

Ключові слова: знанняорієнтована технологія контролю, модель правил контролю, І/АБО-граф, суперечливість правил, повнота знань, SAT, експертні системи контролю.

АННОТАЦИЯ

Тройнина А. С. Модели, методы и информационная технология разработки и сопровождения знаниеориентированных систем контроля. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии – Одесский национальный политехнический университет МОН Украины, Одесса, 2016.

Целью исследования является повышение достоверности контроля, а также предоставление возможности оперативного внесения изменений в правила за счет разработки новых моделей, методов и ИТ создания и сопровождения систем контроля на базе знаниеориентированного подхода.

На основе анализа существующих решений в области контроля и знаниеориентированных систем сделан вывод о том, что для автоматизации анализа состояний объектов целесообразно использование знаний, и актуальным является автоматизация этапа структуризации знаний для контроля.

В качестве модели представления знаний предложено использовать правила, а для отображения правил контроля, их интерактивной обработки и анализа усовершенствованы модели правил в виде И/ИЛИ-графа и булевых выражений. Усовершенствованная модель для правил контроля в виде И/ИЛИ-графа отличается от существующей разбиением правил на группы по типам аварийных ситуаций объекта контроля, а также добавлением разметки из элементов трех типов, которые помечают специальные свойства правил, такие как нечеткие и взаимно-противоположные посылки, номера правил. Усовершенствованная модель для группы правил контроля в виде булевых выражений отличается от существующей тем, что, в отличие от общего случая, все правила группы имеют один вывод, и это дало возможность получить формулы для «прямых» и «инверсных» правил, которые используются при построении методов проверки правил знаниеориентированных систем контроля.

Разработан метод проверки противоречивости посылок правил контроля на основе задачи о выполнимости булевых формул SAT (SATisfiability problem), включающий три этапа: проверка завершается на первом этапе, если внутри каждого правила существуют противоречия посылок; проверка второго этапа завершается, если существует противоречие посылок внутри хотя бы одного правила; на третьем этапе проверяются противоречия между посылками двух или нескольких правил. Предложен метод проверки правил контроля на полноту на основе визуализации наряду с исходными и «инверсных» правил, а затем автоматизированной генерации дополненных правил на базе сверки экспертом различных точек зрения на полученные знания. Создан метод проверки достижимости в И/ИЛИ-графе вершины состояния с целью поиска и удаления компонент связности, не содержащих такого рода вершины.

Предложена ИТ с использованием редактора правил для разработки знаниеориентированных систем контроля, основанная на разработанных моделях и методах, а также на необходимости частичного переноса этапа проверки знаний на более ранние этапы разработки, что позволило оперативно изменять правила контроля в среднем в течение нескольких часов, в то время как внесение изменений в программный код обычно занимает не менее нескольких суток. С помощью ИТ и редактора правил созданы действующие прототипы: ЭС для контроля по безопасной работе с электроустановками и ЭС контроля сети. На первом этапе ЭС применялись для обучения системных администраторов и диспетчеров по безопасной работе с электроустановками, а также студентов ОНПУ, при этом время обучения уменьшилось на 20% без ухудшения качества. На втором этапе внедрения ЭС контроля безопасной работы с электроустановками использовалась в составе АРМ диспетчера организации, эксплуатирующей электрические сети. Были проведены эксперименты: в течение двух месяцев оценивалась достоверность контроля как процент правильно принятых диспетчером решений до внедрению ЭС и двух месяцев после и сделан вывод, что достоверность контроля увеличилась на 12%, в том числе, за счет ошибок второго рода – на 11% и первого рода – на 1%, а количество несчастных случаев за тот же период времени уменьшилось на 32%.

Ключевые слова: знаниеориентированная технология контроля, модель правил, И/ИЛИ-граф, противоречивость правил, полнота знаний, достижимость вершин, SAT, экспертные системы контроля.

ANNOTATION

Troynina A. S. Models, methods and information technology of knowledge-oriented check systems creation and maintenance. – Manuscript.

Dissertation for a Candidate degree in Technical Science by specialty 05.13.06 – information technologies – Odessa National Polytechnic University, MES Ukraine Odessa, 2016.

The objective of the research is to improve check reliability and provide the opportunity of in-line rules modification due to development of new models, methods and technique for check systems based on knowledge-oriented approach creation and maintenance.

The rules as a model of knowledge representation are used to automate the objects state analysis. Such models as AND/OR-graph and Boolean expressions for check rules are improved for rules visualization and interactive processing. Methods for rules verification both of inconsistency using SAT problem, completeness using so called "inverse" rules and graph vertex for object state reachability are proposed. The technique with use of rules editor is created for check knowledge-based systems development on the basis of the proposed models and methods which provide the opportunity of in-line rules modification within several hours. The expert system (ES) working prototype for check of the network is created. The ES for the dispatcher that regulates the safe operation with electrical equipment made it possible to increase the reliability of decisions taken by the dispatcher by 12%. The number of accidents during the reporting period of time fell by 32%. ES were used for dispatchers and system managers training and allowed to reduce training time by 20%.

Keywords: knowledge-oriented technology for check, check rules model, AND/OR-graph, rules inconsistency and completeness, SAT, expert check systems.