

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

**ВСТУП ДО КОМП'ЮТЕРНОГО НАВЧАННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ
БЛОКА ГІРОСКОПІЧНИХ ДАТЧИКІВ**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2018

УДК 004.421:378.147:629.7.058.7(075.8)
B85

Колектив авторів:

А. С. Кулік, А. Г. Чухрай, О. В. Гавриленко, Х. П. Мартінес Бастіда

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. А. Л. Єрохін,
д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко

Вступ до комп'ютерного навчання відмовостійкості блока
B85 гіроскопічних датчиків [Текст] : навч. посіб. / А. С. Кулік, А. Г. Чухрай,
О. В. Гавриленко, Х. П. Мартінес Бастіда. – Харків : Нац. аерокосм.
ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 156 с.

ISBN 978-966-662-649-6

Подано матеріали з теоретичного і практичного вивчення методів інтелектуального і адаптивного комп'ютерного навчання вирішенню складних інженерних завдань у технічних науках. Розглянуто приклад проектування і реалізації інтелектуального комп'ютерного навчального комплексу, що містить лабораторний стенд дослідження відмовостійкості блока гіроскопічних датчиків. Наведено впорядковані за компонентами знань завдання, що необхідно вирішити для здобуття знань і вмінь у вибраній предметній області.

Для студентів, магістрантів та аспірантів спеціальностей «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології», «Авіоніка», «Авіаційний транспорт», «Метрологія й інформаційно-вимірвальна техніка», «Прикладна математика» і «Комп'ютерні науки».

Іл. 72. Табл. 22. Бібліогр.: 36 назв

УДК 004.421:378.147:629.7.058.7(075.8)

© Колектив авторів, 2018

© Національний аерокосмічний

університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», 2018

ISBN 978-966-662-649-6

ВСТУП

Кожного дня ми отримуємо багато інформації, необхідної як для нашого повсякденного життя, так і професійної діяльності. Рівень складності виконуваних кожною людиною завдань підвищується день у день, і суспільство зобов'язано бути готовим до цього. Людям необхідна така освіта, що містила б в собі не тільки базові, але й специфічні знання. Сучасні спеціалісти технічної сфери мають особливу потребу у великому обсязі знань, здобуття яких не займало б багато часу. Саме тому класичний освітній метод не є досить задовільним.

Уже тривалий час в таких сферах, як, наприклад, телебачення, радіо, журналістика успішно застосовують технології дистанційного комп'ютерного навчання. Однак навіть при наявних позитивних результатах такі технології є досить обмеженими, а для технічної освіти – зовсім не пристосованими.

У більш сумісних сферах (наприклад, в ІТ) досягнуто суттєвих результатів у використанні інтелектуальних комп'ютерних навчальних програм (ІКНП), які не можуть бути отримані при застосуванні традиційного викладання з ряду економічних і соціальних причин. Використання ІКНП дає можливість навчатися індивідуально. Дослідники дійшли одностайної згоди, що індивідуальне навчання, яке враховує всі потреби студента, є найбільш ефективною формою здобуття знань. При порівнянні результативності індивідуальних занять, наприклад, з картографії, з аналогічними аудиторними заняттями було виявлено, що 98 % студентів, що займаються індивідуально, досягли більш високих результатів, ніж середній студент, що займається за аудиторною системою. Тому ІКНП може стати ефективним засобом адаптивного навчання, що орієнтовано на набуття професійних навичок, з метою повного засвоєння знань для одержання високої професійної кваліфікації майбутніми професіоналами.

Багато зарубіжних і вітчизняних вчених зробили істотний внесок у розроблення методів інтелектуальної комп'ютерної підтримки здобуття знань. Разом з тим впровадження ІКНП призводить з одного боку, до виконання підвищених вимог викладачами, наприклад, вміння програмувати, тестувати і супроводжувати програмне забезпечення. З іншого боку, ІКНП мають обмежений спектр предметних областей застосування і залежність від методів адаптації, не забезпечуючи студентів комплексною підтримкою адаптивного навчання з певних навчальних дисциплін. Слід зазначити також, що в ІКНП обмежено кількість можливих форм завдань, склад компонентів знань (КЗ), є неможливим створення міжпредметних зв'язків і облік накопиченого досвіду навчання. Саме тому розроблення інформаційної технології підтримки адаптивного інтелектуального навчання, що усуває зазначені недоліки, є актуальним науково-технічним завданням.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ НАВЧАННЯ ТЕХНІЧНИМ НАУКАМ

1.1. Актуальність проблеми

Інтелектуальні навчальні комплекси (ІНК) широко застосовуються в різних сферах освіти на різних рівнях [1-9]. Метою створення таких комплексів є розроблення зручної платформи для оптимального навчання або розуміння специфічних знань або завдань, тобто предмет вивчення має легко і швидко засвоюватися. Потенційна цінність ІНК є очевидною. Вони надають студентіві персонального «вчителя», здатного адаптуватися до його потреб.

Один з важливих аспектів при розробленні навчальних комплексів – подання пояснень викладача у зручній для студентів формі. Цей процес починається з викладання експертних знань, що дозволяють відповідати на запитання і вирішувати проблеми, які постають перед студентом. Наприклад, експертна система у складі навчального комплексу з математики формулює кожену задачу і аналізує її покрокове розв'язання [10-11]. Відповідно до моделі навчання ІНК досліджує мотивування студента, обчислює момент, коли він втрачає хід думки, діагностує причини помилок і надає пропозиції щодо способів їх виправлення.

Індивідуальне навчання, як свідчать документально зафіксовані докази, є раціональним способом навчання [12-14]. Інтелектуальні навчальні системи майже зрівнялися зі стандартом людини-вчителя, вони допомогли підвищити ефективність набуття компетенцій і успішність студентів [22]. З часом ІНК стали більш досконалішими. Досягнення в когнітивістиці забезпечують більш «людяні» можливості навчання, охоплюючи широкий діапазон предметів і дисциплін [15-17].

У наш час навчальні комплекси є доступними в різних варіантах, в будь-який час, в будь-якому місці і майже на будь-яку тему. Слід виділити їх основні напрямки:

1. *ІНК здатні пристосовуватись до індивідуальних особливостей студентів.* Навчальні комплекси можуть мати дані про підготовку кожного студента, особливості навчання і поточні потреби, а також можуть вибирати мультимедійний матеріал з відповідним рівнем подання і стилем.

2. *Студенти працюють самотійно або в командах.* Групи студентів, що поділені за місцем і часом, керують своїм навчанням. При роботі в командах вони можуть працювати з дистанційними партнерами, пояснюючи свої доводи і пропонуючи свої варіанти. Вони продовжують навчання, поки зайняті продуктивною діяльністю. Викладачі можуть легко змінювати теми навчального матеріалу або контролювати успішність студентів за допомогою ІНК.

3. *Застосовуються новітні апаратні й програмні засоби.* Студенти працюють на своїх персональних комп'ютерах локально або з високошвидкісним Інтернет-з'єднанням із сучасними серверами. Вони можуть ставити запитання, використовуючи мультимедійні пристрої, розвивати навички використання периферійних пристроїв та використовувати різні способи програмної навігації, ґрунтуючись на своїх можливостях й інтересах.

4. *ІНК реалізують прогресивні технології навчання.* Сховища навчальних матеріалів в навчальних комплексах – це не просто дані на якусь тему. Програмне забезпечення містить якісні моделі кожної предметної області навчання, включаючи об'єкти і процеси, що характеризують напрямки і причинно-наслідкові зв'язки між темами.

Наведені напрямки описують подання повністю розвиненого інтелектуального програмного забезпечення. Такі комплекси реалізують різноманітні концепції навчання, використовуються в аудиторіях в різних інструктивних формах (моделюванні, ігор, відкритих умовах навчання), охоплюють спектр дисциплін (фізику, математику, мистецтвознавство) [3, 4, 18-20]. Це не просто «додатки» до навчання. Вони можуть кинути виклик існуючій системі навчання, запропонувавши нові способи організації освітнього процесу і нову допомогу студентам у здобутті знань. Нова технологія забезпечує індивідуальний підхід і розширює можливості викладача. Вона допомагає студентам, які кожен день мають засвоювати величезну кількість інформації і спілкуватися з різними людьми. В навчальних закладах при цьому слід працювати над організацією своєї діяльності, беручи до уваги такі питання:

- *структура навчального закладу.* Що станеться зі структурою навчального закладу, коли студенти вибиратимуть, що і коли вчити, працювати над проектами самостійно або спільно з дистанційними партнерами за індивідуальним графіком;

- *викладачі та адміністративні службовці.* Як реагуватимуть викладачі, коли їх роль зміниться з читання лекцій на надання інструкцій чи кураторство;

- *аудиторії.* Що станеться з лекціями і аудиторіями, коли викладачі і студенти будуть вільно вибирати інтерактивні модулі; яким буде результат, коли викладачі будуть відтворювати навчальні комплекси за бажанням і при незначних витратах;

- *конфіденційність інформації студентів.* Як можна забезпечити захист конфіденційності інформації студентів, коли будуть вестися записи, які стануть доступними в системі або мережі?

Століттями основними засобами навчання є книги, лекції і аудиторні заняття. Запропонована викладачами інформація подається в легко засвоюваних формах; студенти отримують її пасивно і в процесі навчання працюють ізольовано. Подібні пасивні методи передбачають, що завдання

студента – засвоїти зрозумілу інформацію і показати розуміння цієї інформації на різних тестах. У такій ситуації викладачі, як правило, ставлять 95 % запитань в аудиторії, де є можливими лише короткі відповіді або остаточні розв'язки задач [3-4, 21].

Такі підходи до навчання не є ефективними, вони успішні тільки при застосуванні до найбільш талановитих студентів у кожній групі. Як з'ясувалося, успішність студента при груповому навчанні, де коефіцієнт «викладач–студент» становить 1:30, відрізняється від індивідуального навчання, де цей коефіцієнт – 1:1, приблизно на два стандартних відхилення [12, 22]. Іншими словами, типова крива успішності фокусувалася на позначці 50 % для традиційного навчання, заснованого на читанні лекцій, і підвищилася до 98 % у разі індивідуального навчання людиною-учителем (рис. 1.1) [2].

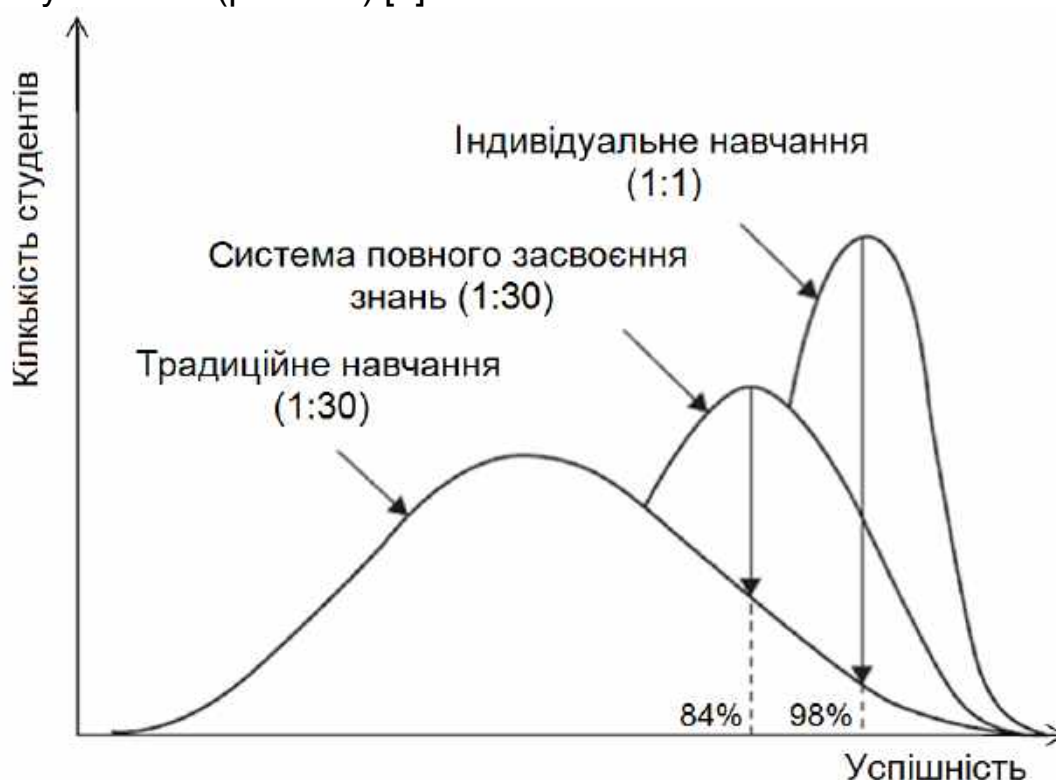


Рис. 1.1. Переваги індивідуального навчання

Інші ефективні методи навчання, наприклад, спільна робота, дослідницьке навчання і метапізнання, активно залучають студентів до створення свого власного способу навчання. Проте ці методи майже неможливо застосовувати в аудиторіях без технологій, оскільки робота з ними потребує великої кількості часу і значних ресурсів. Наприклад, для індивідуального навчання необхідна наявність одного викладача для одного студента. Спільна робота, що сприяє роботі студентів в командах і поясненню їх завдань один одному, часто приводить до того, що процес навчання студента потребує індивідуальної уваги викладача для кожної

групи з одного-трьох студентів. Дослідницьке навчання, що заохочує студентів ставити запитання, висувати наукові гіпотези і збирати дані, – це ефективний метод, тому що студенти залучені до активної роботи і використовують інформацію різними способами.

Однак при дослідницькому навчанні потрібно, щоб викладачі спрямовували студентів, коли ті ставлять запитання і збирають або аналізують інформацію. Набуття метакогнітивних навичок, коли студенти зосереджуються на своїх власних методах навчання (наприклад, проханні порад, самопоясненні), іноді приводить до більш ефективного навчання, хоча і потребує від викладачів індивідуального керівництва для кожного студента. У багатьох навчальних закладах не можуть надати індивідуальну увагу засвоєнню більшості дисциплін в достатньому обсязі. Однак багато країн підтримують ідею про надання викладача для кожного студента, особливо це стосується професій з високим рівнем ризику (льотчиків, операторів ядерних реакторів тощо), галузей із спеціалізованими технічними знаннями найвищого рівня або навчання мистецтву чи філології.

Одним із прикладів неефективного навчання є традиція викладення студентам сухих фактів. Розуміння складових і даних дисципліни не настільки ефективно, як розуміння її структури, застосування і функціональності. Ці твердження особливо правильні стосовно таких областей, як наука, математика й інженерна справа, де студенти мають знати процеси, на основі яких дисципліна будується, оцінюється і змінюється.

Інформаційна технологія є ефективною при навчанні і підвищує продуктивність цивільної і воєнної промисловості. Інтелектуальні комплекси забезпечують такі ж поліпшення, як і індивідуальне навчання і ефективно зменшують час навчання з однієї третини до половини [2, 13]. Крім того, індивідуальне навчання людиною-учителем підвищує успішність групи приблизно до 98 % [2]. Інтелектуальні комплекси є на 30 % ефективнішими, ніж традиційне навчання, а сітьові варіанти знижують потребу в кадровому забезпеченні приблизно на 70 % і експлуатаційні витрати – приблизно на 92 % [4, 9, 21-23].

Таким чином, є очевидними відмінності між традиційним підходом і навчальними комплексами, а їх вплив на ефективність засвоєння знань не можна заперечити. Разом з тим існує потреба у створенні нових ІНК для різних дисциплін з метою підвищення успішності студентів і зменшення часу, необхідного для навчання. Така мета є майже недосяжною без підтримки комп'ютерних систем.

Студентам необхідно практично застосовувати те, що вони вивчають, на реальних задачах, тому далі мова піде про створення ІНК, що застосовується для засвоєння технічних дисциплін студентами – майбутніми інженерами. Зокрема, розглянемо комплекс для навчання

алгоритму діагностування та відновлення відмов блока гіроскопічних датчиків.

Вище було зазначено важливість розроблення ІНК для досягнення позитивних змін завдяки їх застосуванню в навчальному процесі. Вони сприяють розвитку навичок студентів шляхом поліпшення розуміння інформації, що вивчається, залишаючи осторонь неефективний старий підхід навчання, згідно з яким слід засвоювати величезний масив технічних і абстрактних знань, що призводить до перенасичення і тим самим до блокування плавного ходу процесу навчання.

Розроблення нових технологій і підходів слід починати з вивчення особливостей предметної області навчання.

Вивчення структурно-параметричного підходу до діагностування та парирування відмов, який запропоновано у роботі [24], є важливим кроком у навчанні системам керування і автоматики в університеті «ХАІ» вже протягом декількох десятиліть. У рамках цієї дисципліни студентам необхідно зрозуміти структуру певної технічної системи, її поведінку при роботі з математичними моделями і зрозуміти поняття, можливо, нові для них. Це створювало певні складнощі і затримувало засвоєння знань. Тому було проведено роботи [25-28] щодо створення відповідного середовища для навчання необхідним моделям і алгоритмам на прикладі блока гіроскопічних датчиків (БГД). Проте не вистачало взаємодії апаратно-програмного забезпечення зі студентом в реальному масштабі часу, а також дружнього і гнучкого користувацького інтерфейсу, що привело до необхідності розроблення ІНК, позбавленого цих недоліків. Більш того, було вдосконалено алгоритми діагностування відмов [29], що зробило його більш надійним, і це стало одним з основних аспектів, які завжди слід враховувати, оскільки на них ґрунтується надійність всієї системи [30-31]. В наш час за допомогою можливостей сучасних комп'ютерів і мов програмування, що втілюються в безлічі нових електронних систем, були розроблені нові комплекси та прилади.

На комерційному ринку можна спостерігати фактичні тенденції до розроблення систем, де користувач може безпосередньо взаємодіяти з системою. Звичайно, люди захоплюються таким видом систем. Вважається, що взаємодія з системою – це саме те, що людям подобається і підтримує їх інтерес, при цьому зберігається безпосередня взаємодія з тим, що вони роблять. Комплекс навчання алгоритму діагностування відмов БГД поширить коло завдань, що вирішуються подібними системами. Мета ІНК – поліпшити засвоєння інформації за більш короткі проміжки часу з меншими зусиллями завдяки привабливому графічному інтерфейсу, де студент буде мати можливість взаємодіяти з лабораторним стендом, маніпулювати різними змінними і спостерігати зміни у поведінці системи в реальному масштабі часу. За допомогою комплексу можна наочно побачити, як алгоритм використовується в

процесі керування і діагностування БГД. Таким чином, завдяки впровадженню ІНК буде змінено пасивний спосіб викладання на дослідницький.

Розроблений ІНК має містити інструменти, які допомагають зрозуміти структуру системи, базові поняття і моделі, що є основою алгоритму діагностування відмов БГД. ІНК допоможе вивчати і розуміти цей вид систем шляхом експериментальних досліджень, а також забезпечуватиме взаємодію з системою, утворюючи замкнутий цикл навчання «студент–ІНК». Впровадження ІНК допоможе студентам легше опановувати знання, що сприятиме їх кращому когнітивному розвитку і, в свою чергу, приведе до створення атмосфери безперервного професійного зростання.

1.2 ІНК для навчання студентів діагностуванню

1.2.1 Загальна архітектура навчальних комплексів

Існуючі ІНК вирізняються за архітектурою. Фактично, майже неможливо знайти дві системи, що побудовані з використанням однієї архітектури. Це відбувається завдяки експериментальному характеру робіт в цій галузі [3, 11].

Раніше спостерігалася значна узгодженість в літературі щодо складу ІНК як мінімум із чотирьох основних модулів:

- експертних знань;
- моделі студента;
- навчання;
- користувацького інтерфейсу.

На рис. 1.2 показано в загальному вигляді архітектуру ІНК, яка є базою для подальших розроблень. Вона не являє собою жодну конкретну відому систему, а є основою для розуміння компонентів, які входять до складу систем такого типу.

Модуль експертних знань містить факти і правила конкретної предметної області, що передаються студентові, наприклад, закони фізики або математичні теореми. Ця інформація є першим аспектом експертних знань викладача, які подано в ІНК. Знання, що передаються, містяться в попередньо відібраному презентаційному матеріалі і розроблені учителем-експертом, відображаються для студента за певної умови. Таке безпосереднє подання знань визнано неадекватним: фактично основний урок, засвоєний в результаті досліджень експертних систем, – це те, що будь-який експертний модуль повинен мати надлишок конкретних і докладних знань, отриманих від людей, що мають роки досвіду в конкретній галузі. Тому в ІНК багато зусиль витрачається на пошук і систематизацію знань в конкретній галузі, особливо в комплексній області з великим обсягом знань і великою кількістю взаємозв'язків цих знань.

Таким чином, визначення способу кодування знань і способу їх подачі в ІНК залишається центральним питанням створення модуля експертних знань. Насправді цей процес спрямовано на надання більш глибоких знань, які зберігаються в даному модулі. Тому в існуючих ІНК експертні знання подано різними способами: семантичними мережами, фреймовими й продукційними системами. Вони мають містити не тільки поверхневі знання (опис різних концепцій, які студентів слід вивчити), але також і репрезентативні можливості, які визнано надзвичайно важливою частиною експертних знань. Експертні знання мають забезпечувати можливість створювати незалежне від реалізації та здатне до поширення репрезентативне подання інформації [6, 21-22].

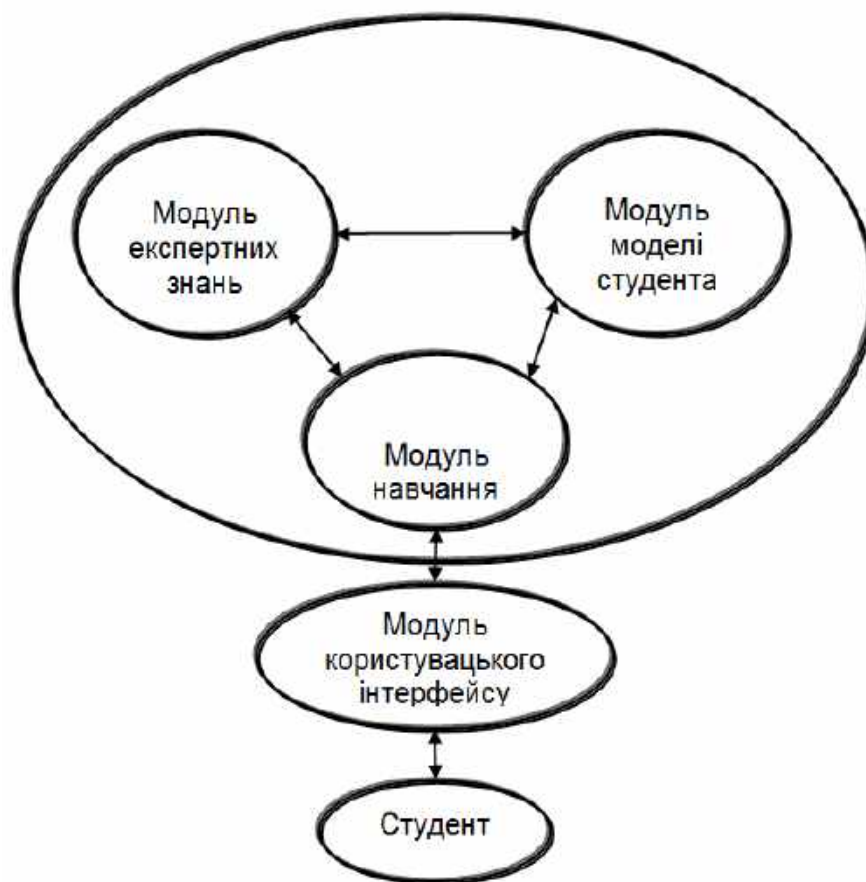


Рис. 1.2. Загальна архітектура ІНК

Модулі експертних знань можна поділити залежно від спектра, починаючи від повністю незрозумілих описів (принцип «чорного ящика»), де є доступним тільки кінцевий результат, і закінчуючи повністю зрозумілими описами (принцип «прозорого ящика»), де кожен етап аргументації може бути розглянутим і поясненим.

Модуль знань, як і експерт в певній галузі знань (згідно з іншим визначенням), виконує подвійну функцію. По-перше, він служить як джерело знань, які надаються студенту, і містить постановку запитань,

надання пояснень і відповідей. По-друге, він забезпечує стандарт для оцінювання успішності студента. Для останньої функції модуль повинен мати можливість генерувати вирішення проблем в тому ж контексті, що й студент, щоб можна було порівняти відповіді. Модуль також повинен мати можливість виявляти загальні систематичні помилки і, якщо можливо, визначати наявність будь-яких прогалин в знаннях студента, які можуть бути причиною таких помилок. Якщо ІНК призначено для перевірки здатності студентів вирішувати проблеми, то експертний модуль повинен також мати можливість генерувати ланцюжки, що ведуть до розумних рішень і, можливо, до множини рішень для порівняння проміжних етапів.

Крім того, як стандартну функцію модуль експертних знань можна використовувати для отримання доступу до відстеження загальної успішності студента. Для цього необхідно установити деякі критерії порівняння знань. Такий тип порівняння є можливим тільки тоді, коли знання подано експліцитно. Тому ІНК відрізняються від традиційних комп'ютерних програм тим, що знання в останніх вбудовано до коду.

Слід відзначити, що в разі необхідності модуль експертних знань містить конкретні положення з певної області. Таким чином, навчання можна скоректувати, якщо студент не розуміє вказівки системи або якщо система не може інтерпретувати поведінку студента в рамках власного викладення знань [7]. Звичайно, люди-вчителі також мають свої власні погляди, але вони обмежені у швидкості й обсягах перероблюваної інформації при адаптації цих знань для забезпечення їх сприйняття студентом.

Модель студента належить до динамічного подання здобутих знань і навичок. Ніяке інтелектуальне навчання не може відбуватися без розуміння студента. Таким чином, поряд з ідеєю незалежного і поширюваного подання знань з'явилася ідея аналогічних дій стосовно студента у вигляді формальної моделі. В ідеалі ця модель має містити всі ті аспекти поведінки студента і його знань, які роблять можливий вплив на його успішність і навчання. Однак завдання побудови повної моделі є не тільки нетривіальним але, можливо, й нездійсненним, особливо, якщо враховувати, що канал передачі даних, яким, як правило, є клавіатура, сильно обмежений. Люди-вчителі зазвичай об'єднують дані з декількох різних каналів, наприклад, додають інтонації або міміку. Вони також можуть визначати модель студента та інші феноменологічні чинники, такі, як нудьга або мотивація, що є теж критично важливими при навчанні. Як правило, модель студента може мати шість функцій:

- коригувальну – для усунення помилкових знань студента;
- розвивальну – для усунення прогалин у знаннях студента;
- стратегічну – для істотних змін в методичній стратегії;
- діагностичну – для діагностування помилкових знань студента;

- прогнозувальну – для визначення ймовірної реакції студента на навчальні дії;
- оцінну – для сприяння взаємодії студента та ІНК.

Зазначений перелік може бути іншим або набагато меншим, і можна вважати, що модель студента виконує подвійну функцію. З одного боку, вона діє як джерело інформації про студента, з іншого – як подання знань студента.

У своїй функції як джерела інформації модель студента формалізує невидимі аспекти поведінки студента. Таке припущення може привести до інтерпретації його дій, а також до реорганізації знань, які сприяли виникненню цих дій. Такі знання надзвичайно важливі для педагогічної складової ІНК, оскільки можуть використовуватися залежно від перелічених вище шести функцій моделі.

Модель студента також можливо залежить від подання системою цільових знань в модулі експертних знань. Відповідно модель студента може містити чітке оцінювання і освоєння кожного блока знань в експертному модулі (функція моделі тут є оцінною). Це дозволяє провести порівняння стану знань студента і модуля експертних знань. Навчання в такому випадку зміститься в бік частин моделі, зображених як слабкі (таким чином, функція моделі тут служить для розвитку). Така форма моделі студента називається «оверлейною» моделлю [13], тому що стан знань студента розглядається як підмножина експертних знань. Знову ж таки це відображає функціонування моделі студента як джерела інформації.

Однак хибні дії або не зовсім правильні відповіді студента не завжди є результатом неповних знань. Вони можуть бути визначені некоректними версіями цільових знань. Тому більш творча модель студента має забезпечувати незалежні подання студентських некоректних версій цільових знань з метою виправлення (функції моделі студента тут – діагностична та коригувальна – відображають знання студента).

Моделі студента є виконуваними або працездатними. Це дозволяє робити точне прогнозування стосовно конкретного студента в конкретному контексті (функція моделі тут – передбачення). Навчальному модулю необхідно мати такі виконувані образи в педагогічних цілях. Моделі студента являють собою формалізацію знань студента, вони виконують дві функції: діють як джерело інформації про студента і як відображення його знань. При виконанні цих функцій моделі виступають коригуючою ланкою, що призначена для розвитку в стратегічному, діагностичному і оціночному сенсі.

Навчальний модуль є тією частиною ІНК, яка визначає і регулює навчальні взаємини зі студентом. В інших архітектурах даний модуль називають «стратегія навчання» або «педагогічний модуль». Він є тісно пов'язаним з моделлю студента і доповнює її своєю структурою цілей навчання для визначення того, якою буде педагогічна діяльність.

Педагогічна діяльність має бути подана: рекомендаціями щодо подолання тупикових ситуацій в роботі, порадами, допомогою, поясненнями, практичними завданнями, тестами для підтвердження гіпотез в моделі студента та ін. Таким чином, навчальний компонент є джерелом та інструментом всіх педагогічних процесів. Застосовувані рішення є ледь вловимими. Порядок і спосіб оброблення теми можуть привести до іншого досвіду навчання. При навчанні іноді слід дозволити студентові побути у важкій ситуації протягом деякого часу перш ніж втручатися; іноді студент губиться, якщо йому дають змогу діяти повністю самостійно (проте жоден хороший педагог не зруйнує особистісну мотивацію студента або його почуття відкриття). Тому навчання за допомогою ІНК можна поділити залежно від ступеня втручання, починаючи від систем, які дуже ретельно «контролюють» всю діяльність студента, адаптуючи кожную свою дію під реакції студента, і ніколи не втрачають контроль, і закінчуючи системами навчання методом керованих відкриттів, де студент має майже повний контроль діяльності, а єдиним способом, завдяки якому система може направляти хід дій, є зміна середовища. У центрі знаходяться змішано-ініціативні системи, де контроль поділяється між студентом і системою у вигляді обміну запитаннями і відповідями. Існування даного спектра свідчить про те, що навчання є мистецтвом, для якого необхідна велика різнобічність, яку раніше було надзвичайно складно сформулювати і подати в ІНК. Проте в цьому спостерігається деякий прогрес, хоча і обмежений.

ІНК призначені також для системно-незалежного подання знань, що знаходяться в навчальному модулі. Це створює можливість адаптації і поліпшення стратегій з часом (як у випадку з людьми, які ставлять за мету самовдосконалення завдяки ІНК), а також використання цих же стратегій в інших областях. І знову ж таки це суперечить традиційним підходам, де такі педагогічні знання глибоко заховані в різних частинах коду, який керує навчальною взаємодією.

Модуль інтерфейсу користувача є сполучною складовою ІНК, яка керує взаємодією студента і системи, як показано на рис. 1.2. Він забезпечує перетворення внутрішніх даних системи й інтерфейсної мови в обох напрямках, щоб задовольнити потреби студента. Оскільки інтерфейс користувача може або створити, або зруйнувати успішність використання програмного забезпечення, незважаючи наскільки є функціональною внутрішня система, його розглядають як окремий, відособлений компонент. Фактично було б помилкою розглядати його як вторинний компонент ІНК через наявність двох основних причин. По-перше, при поданні теми ІНК інтерфейс може або посилити, або послабити ефект від презентації. Тому інтерфейс є зовнішньою формою, в якій ІНК подає себе. Такі якості, як зручність використання і привабливість, можуть бути вирішальними для сприйняття системи студентом. По-друге, розвиток

медійної технології в більшій мірі забезпечує впровадження все більш удосконалених інструментів, які значно впливають на розроблення ІНК.

Існуючі ІНК надають інтерфейси, які залежно від форм введення інформації варіюються від використання статичних меню з вибірковими відповідями до досить вільного оброблення псевдоприродної мови. Відповідно до форм виведення вони змінюються від простого відображення попередньо збережених текстів до використання досить складних родових фреймів. У цьому спектрі існує також варійована гнучкість.

У деяких випадках взаємодія ІНК зі студентом є більш «дружною» в результаті використання картинок, вказівок областей тексту і друку. В інших – оброблення тексту доповнюється тільки картинками і графіками. Як і раніше, при використанні таких інтерфейсів потрібно набагато більше виконувати попередніх досліджень. Однак в найближчому майбутньому очікується поява ІНК, який взаємодіє зі студентом головним чином через графік, оскільки дослідження щодо розуміння природної мови і комп'ютерного розпізнавання мови все ще знаходяться на низькому рівні. Фактично дослідження інтерфейсів користувача тільки починається, оскільки вони тільки недавно були визнані окремими частинами ІНК.

1.3. Апаратно-програмні навчальні комплекси. Загальні поняття

Апаратно-програмний навчальний комплекс (АПНК) являє собою навчальну систему для застосування в галузі технічних наук для вивчення процесів діагностування та відновлення БГД. На рис. 1.3 показано загальну структуру АПНК.

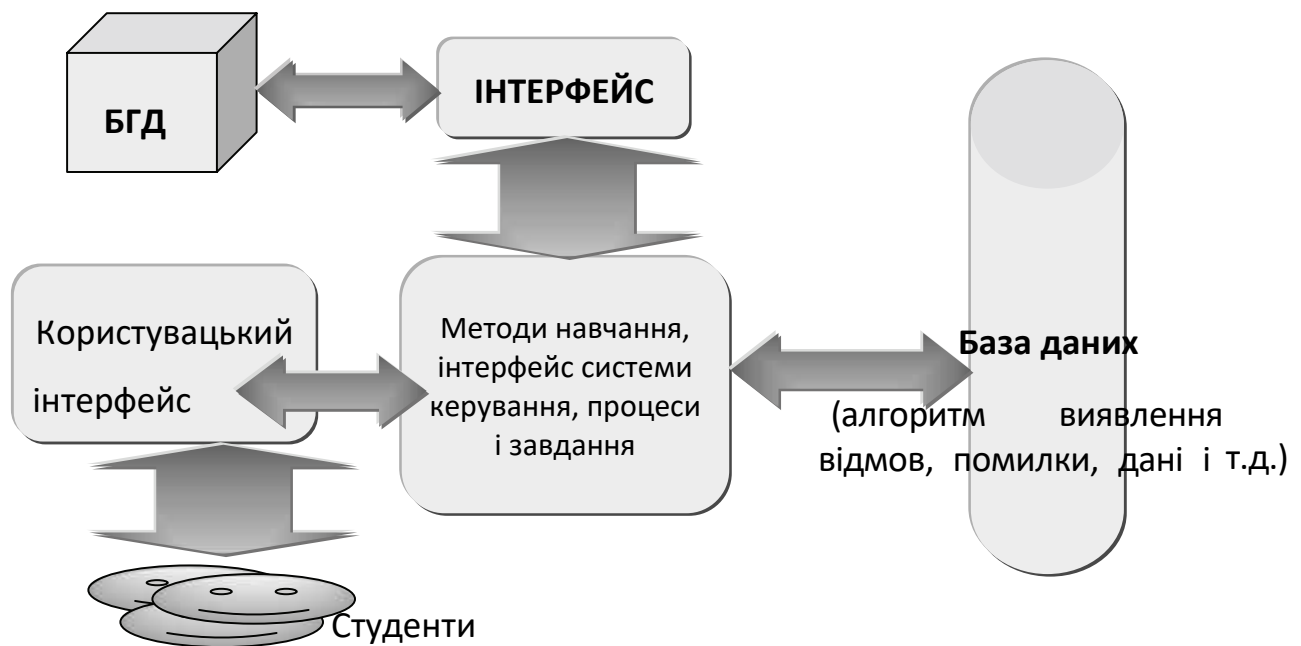


Рис. 1.3. Загальна структура АПНК

АПНК створено з використанням не тільки комп'ютерних програм, але також і різного роду механічних та електронних пристроїв, що об'єднують цінність інформації, закладеної в комплексі з метою забезпечення реальних поведінкових якостей вчителя, який знає кого, чому і як саме він навчає. АПНК можна розглядати як спробу проводити всі ті дії, які виконуються людиною, в єдиному комплексі, що описується як «якісне навчання» [2, 13].

Проектування і розроблення таких навчальних комплексів знаходиться на стику інформатики, апаратного забезпечення, когнітивної психології і досліджень у галузі педагогіки. Область, яка об'єднує ці дисципліни, називається когнітивною наукою (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Дисципліни, що входять до складу АПНК

Програмна частина АПНК розроблена у вигляді Windows-додатку. Як зображено на рис. 1.3, інтерфейс користувача тісно взаємодіє з блоком методів навчання, інтерфейсом системи керування, процесами і завданнями. Інтерфейс є графічним середовищем, де студентів пропонуються до виконання дії для вирішення різного роду завдань і питань. З його допомогою студент буде здійснювати взаємодію з відповідним комплексом, в якому буде подано інформацію на момент

складання завдань. Цей блок відповідає за контроль і адміністрування або керування всією інформацією, що знаходиться в комплексі. Він може запитувати інформацію з реального світу, а це значить через блок гіроскопічних датчиків, що, в свою чергу, може здійснюватися завдяки інтерфейсу системи керування програмою, який контролює стан таких датчиків. Він може зберегти в базі будь-яку корисну інформацію або запросити її з бази, наприклад, відповідь на БГД або запит студентів. Необхідні процеси і завдання цього блока є двигуном навчальної роботи і мають у своєму розпорядженні усі виводи знань і рішень.

База знань складається з експертних знань в заданій області інформації, що оброблена необхідним чином і збережена під час використання комплексу студентом. У блоці знаходиться вся інформація про поведінку алгоритму оброблення відмов системи БГД і результат досліджень його поведінки в певних умовах. База знань реєструє стан системи, а також діяльність студентів, а система створює модель знань, які вивчаються, що являє собою базу даних, яка містить таку інформацію про студента: його правильні й неправильні відповіді, спроби вирішення завдання; час, витрачений на вирішення поставленого завдання, та ін. Вся ця інформація буде використовуватися в подальшому для оцінювання діяльності студента і її перевірки, а також для визначення наступного завдання, яке буде йому надано.

При відображенні завдання АПНК використовує блок інтерфейсу для отримання сигналів гіроскопічних датчиків. Цей інтерфейс є електронною схемою, яка може конвертувати аналогові напруги від датчиків в цифрові значення, які можуть бути інтерпретовані всією системою. АПНК може контролювати БГД відповідно до того завдання і характеристик, які були задані, може запускати, зупиняти і змінювати напрямок роботи двигуна БГД. Після цього БГД отримує інформацію від датчиків, що відображається на екрані за допомогою інтерфейсу. Сигнали, одержані від датчиків, можуть змінюватися. Наприклад, будь-яка несправність потребує містити визначення датчика або датчиків, після чого очікується відповідь від студента згідно з поставленою задачею. Всі ці дані, отримані від датчиків, можуть бути збережені в базі знань і можуть знову використовуватися в подальшій практиці і дослідженнях відповідно до досліджуваної області. Оскільки студент не працює з імітованим сигналом, а застосовує реальні дані, які надходять від датчиків в динамічному середовищі, що являє собою динамічний спосіб навчання, він може найкраще зрозуміти роботу блока в цілому і гіроскопічних датчиків зокрема. Так, головною метою АПНК можна назвати допомогу в дослідженні алгоритмів відмовостійкості БГД, їх особливостей і принципів побудови.

В АПНК закладено алгоритми забезпечення відмовостійкості на основі сигнально-параметричного підходу [24], що дозволяє контролювати стан БГД, а також забезпечувати нормальну роботу датчиків. Головним

чином, це полягає в діагностиці БГД на основі різних математичних моделей, які обробляють сигнали всіх датчиків. Алгоритм має можливість аналізувати сигнали від датчиків і виконувати діагностику їх стану. Діагностика визначає наявність несправностей, точно вказує датчик, в якому виникла несправність, а також її тип і вид. Існують також деякі моменти, які потрібні для точної діагностики. Вони будуть більш детально розглянуті далі.

Можна зазначити, що АПНК ставить завдання перед студентом, яке об'єднує відразу кілька задач. АПНК може вибирати завдання залежно від рівня компетентності студента шляхом проведення моніторингу його відповідей та інших даних. Якщо студент відразу ж стикається з проблемою при вирішенні завдання, робить кілька неправильних спроб його вирішення або наводить кілька неправильних відповідей, АПНК дає йому підказку. Такий вид навчання забезпечує тісний і прямий зв'язок між студентом і АПНК, що значно покращує процес навчання.

1.4. Основні завдання інтелектуального комп'ютерного навчання

Протягом останніх ста років зроблено величезний стрибок у розвитку технологій. Все нові знання, теорії і технології дозволяють проектувати великі й складні механізми і системи, які мають надзвичайно важливе значення в нашому житті. Ми використовуємо їх кожен день, буквально цілодобово, і настільки активно, що вже не можемо уявити своє життя без них. Крім широкого їх використання, є безліч моментів, в яких ми залежимо від правильної роботи таких механізмів. Можна навіть сказати, що саме наше життя буквально залежить від них. Саме в цьому і полягає основна необхідність розроблення стійких і надзвичайно надійних систем. Виходячи з цього можна зробити висновок, що необхідно навчати і сприяти розвитку майбутніх фахівців, які будуть далі вивчати і розробляти нові теорії і технології.

Відмовостійкі системи були також широко вивчені і реалізовані [24-26, 32-33]. Взагалі, можна сказати, що проблемою є саме те, що змінює поведінку і роботу системи, яка більше не відповідає поставленим перед нею вимогам. Це можуть бути будь-які несправності всередині системи, які переривають живлення, порушують потік інформації або створюють інші відхилення в правильному її функціонуванні. Це також можуть бути некоректні параметри контролю, задані людиною-оператором, що виводять систему з ладу в певній точці операції, або помилки в проектуванні системи, які виявилися лише в той момент, коли робота системи дійшла до потрібної частини операції, що значно знизило її загальну продуктивність. Для того, щоб уникнути порушень параметрів продуктивності або пошкоджень таких механізмів і, тим більше, людей,

подібні недоліки мають бути виявлені і усунені якомога швидше, що попередить нанесення ними будь-якої шкоди.

Система має бути вкрай надійною, що означає, що їй слід зберігати свою працездатність навіть за наявності будь-яких несправностей або в інших ситуаціях, які можуть спричинити такі наслідки. Таким чином, можна сказати, що найважливішим завданням фахівців має бути розроблення відповідних відмовостійких алгоритмів, які дозволять створити надійну систему, якій, в свою чергу, будуть потрібні нові методи навчання і більш ефективні шляхи формування і застосування людських ресурсів. Дослідження підтверджують, що висококваліфікований викладач може привнести значну вигоду в процес навчання, особливо з використанням ІНК, переваги яких вже було описано вище.

Згідно з даними аналізу набору завдань, кожне з яких може бути вирішено одним або декількома способами, обов'язки навчаючої системи поділяють на два етапи [3,12,13]: зовнішній і внутрішній цикли роботи над завданнями. Головна задача зовнішнього (основного) циклу полягає в підборі завдань для студента, саме таких, які будуть сприяти його навчанню. **Внутрішній цикл** відповідає за моніторинг, отримує відповіді студента, формує правильні відповіді та педагогічні впливи на студента, такі, які сприятимуть його навчанню.

Приклад функціонування двох циклів можна спостерігати в такому наборі дій у процесі навчання:

- система призначає завдання;
- при виконанні завдання система може підказати студентові;
- студент робить крок до вирішення завдання;
- система дає відповідь на виконану дію;
- студент дає відповідь на одержане завдання;
- система аналізує відповідь;
- система може призначити наступне завдання.

Цей приклад є простим способом пояснити, як саме функціонують два цикли структури. Існує багато способів організувати роботу внутрішнього циклу. Підказки та зворотний зв'язок можуть бути як негайними, так і з затримкою, а також можуть надаватися за запитом (наприклад, за запитом студента або при певних діях студента). Проте внутрішній цикл обробляє кроки, що вживаються студентом, у той час, як зовнішній цикл обробляє поставлену задачу.

Основним завданням **зовнішнього циклу** є вибір наступного завдання, пропонованого студентові, а подальшими питаннями проектування можна назвати такі:

- інтелектуальний підхід до вибору завдання;
- отримання великого набору завдань для вибору.

Так, основними можна назвати чотири базових методи, на яких ґрунтується зовнішній цикл і які застосовуються для вибору завдань, пропонованих студентам [12, 13]:

- відображення меню, яке дозволяє студентові вибрати завдання;
- призначення певної послідовності завдань;
- реалізація засвоєння навчальної програми, що побудована у вигляді послідовності одиниць або послідовності рівнів складності педагогічний метод;
- макроадаптація – найскладніший метод, оснований на педагогічному.

Із цих чотирьох загальних методів засвоєння навчальної програми і макроадаптація потребують більшої уваги. В процесі застосування першого методу, наприклад, коли студент працює над блоком, модулем або рівнем складності, призначаються завдання цього блока доти, доки студент не засвоїть необхідні знання. Тільки тоді система дозволяє перейти до наступного блока. Таким чином, одні студенти завершують блок або кілька блоків, виконавши менше роботи, ніж інші студенти. Цей метод зовнішнього циклу часто застосовується в системі самоосвіти, але були також нечасті випадки його застосування і під час загальних класних занять. Засвоєння навчальної програми потребує від системи наявності деякого способу оцінювання рівня вмінь і знань студентів, переданих в систему.

Під час процесу макроадаптації система оцінює рівень володіння студентом необхідними знаннями і кожним з їх компонентів. Коли студент завершує виконання завдання, а система має вибрати наступне, цей вибір робиться з урахуванням певних компонентів вже засвоєних знань і тільки двох нових компонентів, ще не вивчених студентом.

Для правильного функціонування зовнішнього циклу з декількома завданнями і сесіями дані студента мають бути збережені на диску, а ця збережена інформація, як вже зазначалося вище, створює певну модель студента. Так, наприклад, модель студента, може містити такі дані, як результати його стандартних іспитів, відомості про його куратора, а також інформацію щодо виконаних ним завдань, часу їх здійснення, кількості запитів про підказки, які він одержував, або помилки, які він робив, та інші дані щодо його продуктивності. Вся ця інформація може згодом бути використана в процесі вибору завдань і призначення наступних.

Деякі навчальні системи можуть вибирати режим виконання завдання. Так, наприклад, система може самостійно виконувати кожну дію, описуючи рішення покроково і приводячи пояснення до них, або ж наводячи підказки, перш ніж студент візьметься за виконання завдання, або ж може дозволяти студентові вирішувати поставлену задачу самостійно і без підказок. Кожен з наведених варіантів є певним режимом. Для навчальних систем з декількома режимами зовнішній цикл має

містити можливість вибору завдань і їх режимів. Типовий варіант вибору режиму це той, який спочатку пропонує студентам досить багато підказок і допомоги у вирішенні завдання, після чого поступово зменшує їх кількість. Такий випадок є найбільш застосовуваним [6, 13].

Отже, якщо ж зовнішній цикл є більш орієнтованим на послідовність завдань, то внутрішній цикл стосується кроків вирішення завдання. Навчальні системи вирізняються способом, яким вони надають підтримку і допомогу студентам. Спростивши, можна сказати, що вони пропонують студентам ряд сервісів. Наведемо найбільш поширені з них:

- мінімальний час, що витрачається системою на подання відповіді на дію студента. У більшості випадків це означає, що система має лише вказувати, чи є його дія правильною або неправильно;
- конкретна інформативна відповідь на невірний крок. Ця інформація призначена для того, щоб допомогти студентові зрозуміти, чому зроблена певна помилка і як уникнути її;
- підказки до наступних кроків;
- оцінювання знань;
- розгляд рішення.

Незважаючи на те, що всі ці сервіси призначені для того, щоб надати допомогу в навчанні, студенти можуть їх використовувати не за призначенням. Неправильне використання таких сервісів найчастіше відбувається під час освітньої діяльності, в тому числі під час занять в класі або індивідуальних занять з викладачем.

Максимально короткий зворотний зв'язок указує зазвичай на правильність або неправильність виконання конкретного кроку, хоча деякі інші категорії використовуються більш успішно. Навчальні комплекси вирізняються за типами зворотного зв'язку – негайним, із затримкою або за запитом. До цих трьох основних типів також можна додавати більш складні.

Студенти часто стикаються з проблемою щодо складності вирішення завдання і запитують підказку стосовно наступного кроку. Існує три важливих запитання, які суттєво впливають на подання таких підказок:

- коли програма має підказати наступний крок: чи слід їй очікувати запиту студента; чи має вона надавати підказки самостійно, коли виявляє, що студент починає вгадувати результати або стикається зі складностями у вирішенні;
- який крок має запропонувати система;
- як система може надавати підказки для того, щоб максимально оптимізувати процес навчання, контролювати його і дозволяти студентові завершити вирішення завдання?

Особливо важливим є відмінність між двома циклами навчальних систем, де зовнішній цикл несе відповідальність за підбір таких завдань

для студентів, а внутрішній цикл в основному аналізує кроки, надає педагогічно ефективну допомогу і оцінює знання.

Ці принципи організації процесів в ІНК є необхідними, щоб допомогти студентам одержати міцні знання про відмовостійкі системи за допомогою інтерактивних візуальних інструментів. ІНК створено на основі теорії інтелектуальних навчальних систем з метою оптимізувати і поліпшити ефективність навчання. Саме це і потрібно для викладання таких дисциплін, для засвоєння яких є необхідним більш класичний метод освіти, що безсумнівно принесе величезну користь для найкращої підготовки фахівців технічних спеціальностей.

Для досягнення поставленої мети слід виконати три етапи:

- дослідження, аналіз і розроблення відмовостійких алгоритмів керування БГД;
- аналіз відмовостійких алгоритмів з методичної точки зору для формування процесу викладання;
- розроблення АПНК, який буде використовуватися як основний і ефективний інструмент для навчання роботі з алгоритмами забезпечення відмовостійкості БГД.

Контрольні запитання

1. Що таке ІНК?
2. Яку роль відіграють ІНК в сучасному суспільстві?
3. З якими навчаючими програмами ви працювали особисто? Які на Вашу думку їх переваги і недоліки?
4. З яких основних підсистем складається ІНК?
5. Які вчені на основі яких наук заклали фундамент для розроблення сучасних ІНК?
6. Що являють собою два цикли ІНК?
7. Що входить до складу АПНК?
8. Які особливості розроблення має АПНК з відмовостійкою БГД?
9. Яку роль відіграє зворотний зв'язок зі студентом у ІНК?
10. Що таке макроадаптація?
11. Які основні задачі створення ІНК існують в області відмовостійкості БГД?

2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ НАВЧАННЯ

2.1. Блок гіроскопічних датчиків як об'єкт дослідження

Блок гіроскопічних датчиків (БГД) було створено відповідно до стандартів і принципів технічної діагностики і призначено для моделювання ситуацій тестування і дослідження в природному середовищі гіроскопічних датчиків [25, 29]. Це середовище дозволяє створити реальний спосіб моделювання відмов у системах. Змодельовані відмови, що внесені в цей блок, не впливають на реальні показники робочих станів датчиків, вони створюються виключно алгоритмом з основної програми керування.

Реалізація подібної робочої структури створює сприятливе середовище для застосування і тестування відмовостійких алгоритмів, оскільки вивчення БГД досить добре задокументовано [25]. Тепер стає зрозумілим, якою є його поведінка в певних умовах, а також як відбувається реагування в умовах збереження нормального робочого стану, навіть за наявності несправностей в системі.

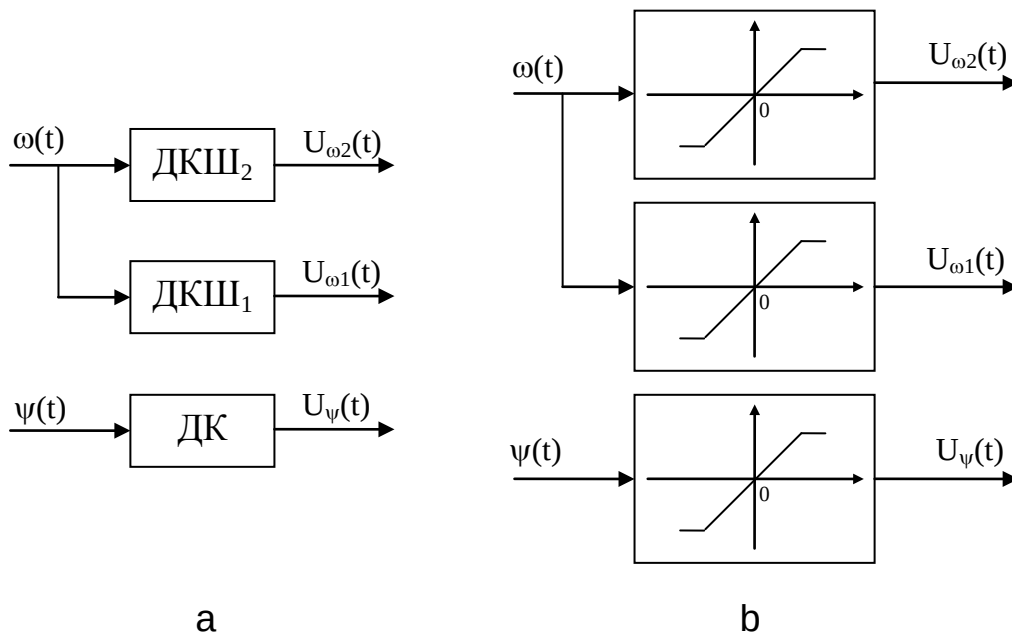


Рис. 2.1. Блок гіроскопічних датчиків: а – функціональна схема, б – структурна схема

Таким чином, БГД разом з алгоритмом відмовостійкості і основною програмою навчального комплексу утворюють надійну платформу для дослідження нової відмовостійкої системи студентами і, можливо, розробниками таких комплексів. Однак також важливо враховувати, що елементи і сенсори, що застосовуються в БГД з програмами навчального комплексу, необхідні не лише для моделювання й формування текстових

матеріалів. Вони створюють більш чітке бачення і наповнення баз знань для студентів, доповнюючи їх освітню функцію поліпшеним інтерактивним методом навчання.

Блок гіроскопічних датчиків відповідає за вимірювання кутових переміщень будь-якого літального об'єкта, його основна структура зображена на рис. 2.1, де можна помітити, що вона побудована на основі даних одного датчика кута (ДК) і двох датчиків кутової швидкості (ДКШ₁ і ДКШ₂). Таким чином, датчик кутової швидкості послідовно перетворює механічний рух в електричні сигнали, які можуть бути використані і оброблені електронними пристроями. Як датчик кута було застосовано сенсор СГ-3-2Р і як датчики ДКШ₁ і ДКШ₂ – два ДУСМ-30.

2.2. Методи діагностичного забезпечення БГД

Діагностичне забезпечення БГД здійснюється з метою визначення його стану в робочому положенні з подальшим аналізом його поведінки і створенням показників для визначення його продуктивності. Крім того, важливо розробити діагностичний алгоритм кроків або завдань, що має бути реалізовано для діагностики безпосередньо БГД. У даній роботі було застосовано підхід параметризації сигналу. Таким чином, розвиток діагностичного забезпечення БГД поділяють на чотири основні етапи, (рис. 2.2). Перший етап полягає у виявленні відмови в блоці датчиків; на цьому етапі визначають наявність відмови в БГД. На другому етапі встановлюють місце, де сталася відмова. На третьому визначають клас відмови.

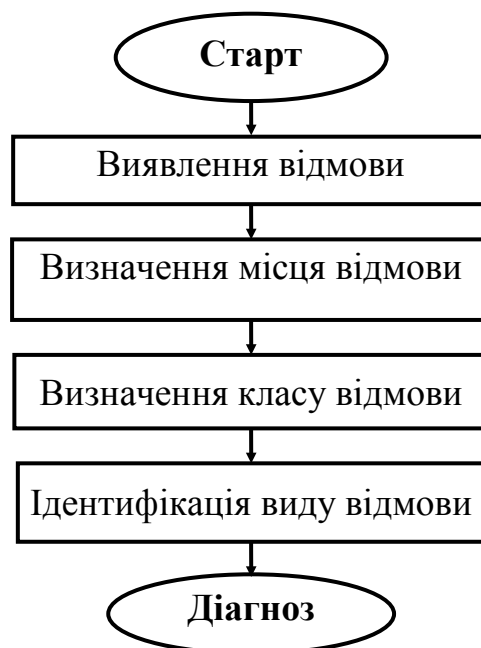


Рис. 2.2. Діагностичне забезпечення БГД

Четвертий етап завершується діагнозом – констатуванням конкретного виду відмови на основі специфічних особливостей змін в БГД.

Кожна математична діагностична модель побудована відповідно до відмов і їх наслідків, якими оперує сама діагностична модель. Розроблення діагностичних моделей потребує наявності величезної інформаційної бази, яка може бути отримана шляхом експериментальних досліджень. Це приводить до створення нового покоління адекватних платформ для вивчення об'єкта, максимально наближених до реальних ситуацій, моделювання експериментальних ситуацій, де багато видів несправностей можуть бути вивчені з метою подальшого розуміння впливу їх наслідків на роботу системи. Діагностичні моделі БГД мають бути інтегровані в програмне (алгоритм) і апаратне (АПНК) забезпечення.

2.3. Блок гіроскопічних датчиків як об'єкт діагностики

Основна робота блока БГД полягає у вимірі кутового переміщення в космічному літальному апараті. Його конструкція основана на такій схемі: один датчик кута (ДК) – для вимірювання $\psi(t)$ і два датчика кутової швидкості (ДКШ₁ і ДКШ₂) – для вимірювання $\omega(t)$, які задовольняють залежності між ними: $\dot{\psi}(t) = \omega(t)$. Запишемо характеристичні рівняння гіроскопічних датчиків:

$$\begin{aligned} U_{\omega 2}(t) &= K_{\omega 2} \cdot \omega(t); \\ U_{\omega 1}(t) &= K_{\omega 1} \cdot \omega(t); \\ U_{\psi}(t) &= K_{\psi} \cdot \psi(t), \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $U_{\omega 2}(t)$, $U_{\omega 1}(t)$ і $U_{\psi}(t)$ – вихідні напруги двох датчиків кутової швидкості і одного кутового датчика відповідно; $K_{\omega 2}$, $K_{\omega 1}$ і K_{ψ} – коефіцієнти передачі датчиків. Кожен датчик може бути описано його статичними характеристиками. В табл. 2.1 наведено статичні характеристики відповідних датчиків.

Таблиця 2.1

Статичні характеристики гіроскопічних датчиків

Датчики/ параметри	$U_{\min}$	$U_{\max}$	K	$\omega_{\min}$	$\omega_{\max}$	$\Psi_{\min}$	$\Psi_{\max}$
ДКШ1, ДКШ2	-15 В	15 В	0.5 (В с) / °	-30 °/с	30 °/с	-	-
ДК	-15 В	15 В	0.1 В / °	-	-	-150°	150°

Ґрунтуючись на багаторічному вивченні БГД і використанні гіроскопічних датчиків, було виявлено 32 види відмов для кожного датчика, які є найбільш вірогідними відмовами для цих типів датчиків.

Ці відмови позначено літерою "d", з їх описом можна ознайомитися в табл. 2.2. Статичні характеристики за видами відмов показано на рис. 2.3.

Таблиця 2.2

Опис відмов

Відмова	Опис
d ₁	Обрив позитивного проводу живлення (рис. 2.3, в – 1)
d ₂	Обрив негативного проводу живлення (рис. 2.3, в – 2)
d ₃	Обрив сигнального проводу (рис. 2.3, в – 3)
d ₄	Дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, а)
d ₅	Дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, а)
d ₆	Дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, б)
d ₇	Дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, б)
d ₈	Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика (рис. 2.3, г – 1)
d ₉	Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика (рис. 2.3, г – 1)
d ₁₀	Переорієнтація коефіцієнта передачі датчика (рис. 2.3, г – 2)
d ₁₁	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика (рис. 2.3, г – 3)
d ₁₂	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика (рис. 2.3, г – 3)
d ₁₃	Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, г – 1)
d ₁₄	Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, д – 1)
d ₁₅	Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, г – 1)
d ₁₆	Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, г – 1)
d ₁₇	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, е – 1)
d ₁₈	Переорієнтація коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, е – 1)
d ₁₉	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, д – 3)
d ₂₀	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, д – 3)
d ₂₁	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний неусувний (рис. 2.3, д – 3)
d ₂₂	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля позитивний усувний (рис. 2.3, д – 3)
d ₂₃	Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, д – 2)
d ₂₄	Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, д – 2)
d ₂₅	Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, д – 2)
d ₂₆	Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, д – 2)

Відмова	Опис
d_{27}	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, а – 2)
d_{28}	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, а – 2)
d_{29}	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, б – 4)
d_{30}	Переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, б – 4)
d_{31}	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний неусувний (рис. 2.3, б – 4)
d_{32}	Переорієнтація і непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і дрейф нуля негативний усувний (рис. 2.3, б – 4)

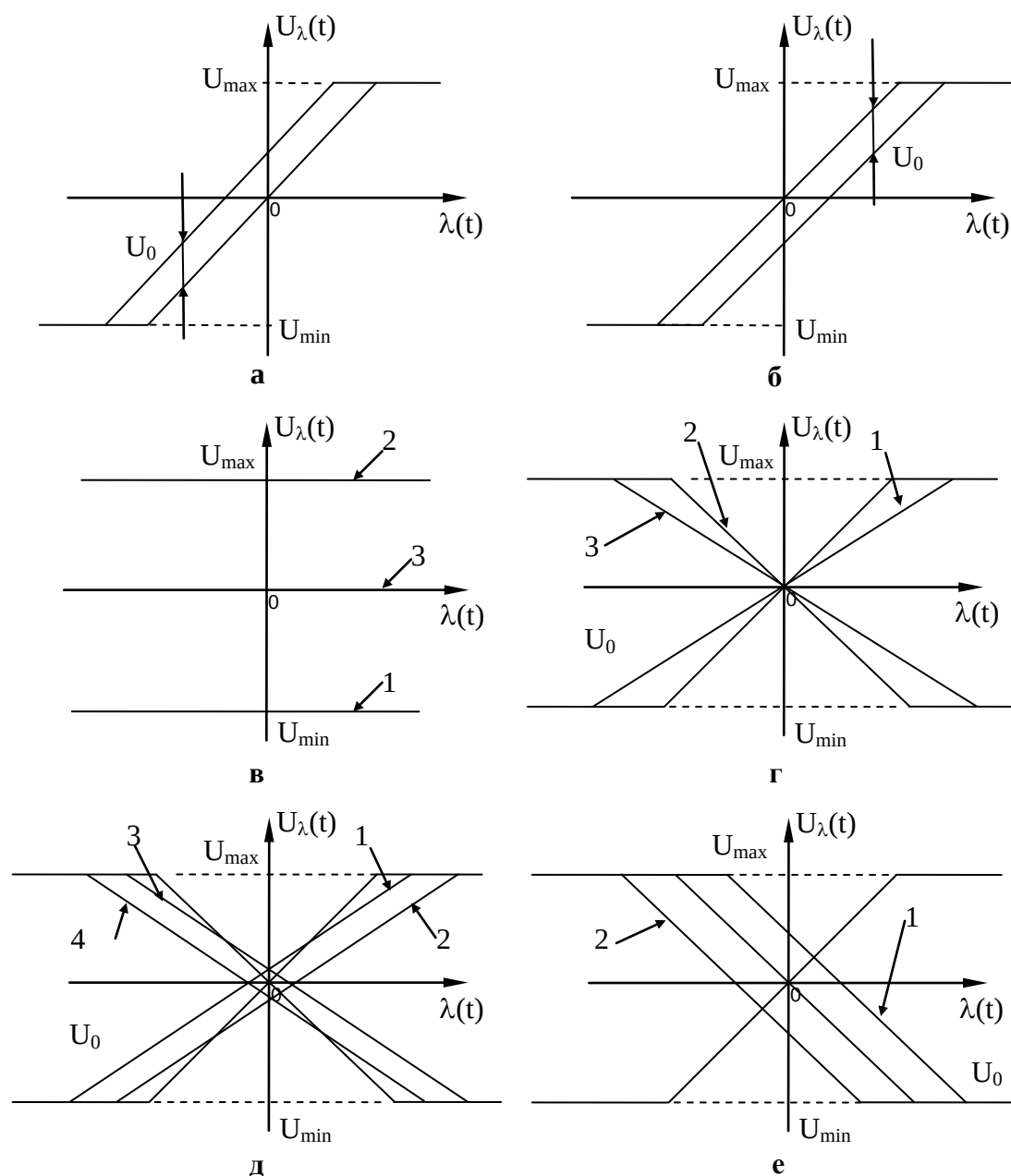


Рис. 2.3. Статичні характеристики відмов

На рис. 2.3 вхідний сигнал подано у вигляді $\lambda(t) \in \{\psi(t), \omega_1(t), \omega_2(t)\}$, вихідний сигнал – у вигляді $U_\lambda(t) \in \{U_\psi(t), U_{\omega_1}(t), U_{\omega_2}(t)\}$, а позитивне і негативне коливання напруги гіроскопічних датчиків $U_{\max}$ і $U_{\min}$ дорівнює ± 15 В.

Усувні відмови обмежено повною шкалою номінальних характеристик з похибкою до ± 10 %, тому несправні сигнали вище ± 10 % будуть визначені як непереборні.

За результатами дослідження такого роду відмов було визначено такі обмеження:

- на момент діагностики несправним може бути тільки один датчик;
- у кожному датчику можна виявити один або два види відмов одночасно;
- в одному датчику одночасно може статися тільки відмова групи «Дрейф-Коефіцієнт»;
- під час діагностики новий вид відмови не може бути визначено;
- вхідний сигнал має бути такого вигляду, щоб можна було визначити види відмов, що описані вище;
- види відмов не залежать один від одного;
- характеристики відмов не змінюються протягом періоду діагностики.

Для того, щоб кількісно розрахувати відмови, рівняння гіроскопічних датчиків слід подати у вигляді

$$\begin{aligned}\tilde{U}_{\omega_1}[k] &= \tilde{K}_{\omega_1} \cdot \omega[k] + U_0^{\omega_1}; \\ \tilde{U}_{\omega_2}[k] &= \tilde{K}_{\omega_2} \cdot \omega[k] + U_0^{\omega_2}; \\ \tilde{U}_{\psi}[k] &= \tilde{K}_{\psi} \cdot \psi[k] + U_0^{\psi},\end{aligned}\tag{2.2}$$

де $\tilde{U}_{\omega_1}[k]$, $\tilde{U}_{\omega_2}[k]$ і $\tilde{U}_{\psi}[k]$ – вихідні напруги гіроскопічних датчиків в умовах відмов; $\tilde{K}_{\omega_1}$, $\tilde{K}_{\omega_2}$ і $\tilde{K}_{\psi}$ – коефіцієнти передачі з можливими певними відхиленнями; $U_0^{\omega_1}$, $U_0^{\omega_2}$ і U_0^{ψ} – дрейфи напруги або відхилення на кожному виході датчиків; $k = 1, 2, 3, \dots, N$ для часу, поданого у вигляді $t = kT_0$, де T_0 – час квантування.

Оскільки вихідну напругу БГД було перетворено в цифрові сигнали, які передаються на комп'ютер для подальшого оброблення, рівняння (2.2) подано в дискретному вигляді.

Діагностичні моделі (ДМ) оснований на системі показників та індикаторів несправностей і структуровано за допомогою видів несправностей і їх фізичних характеристик, які впливають на сигнали датчиків виходу. ДМ розроблено в рамках сигнально-параметричного

підходу і допомагають класифікувати і визначати види несправностей, наведених вище.

Діагностику слід застосовувати відповідно до етапів, показаних на рис. 2.2, де кожен крок має бути використаним, як то було передбачено. Схему взаємозв'язків програмного забезпечення і структури БГД зображено на рис. 2.4.

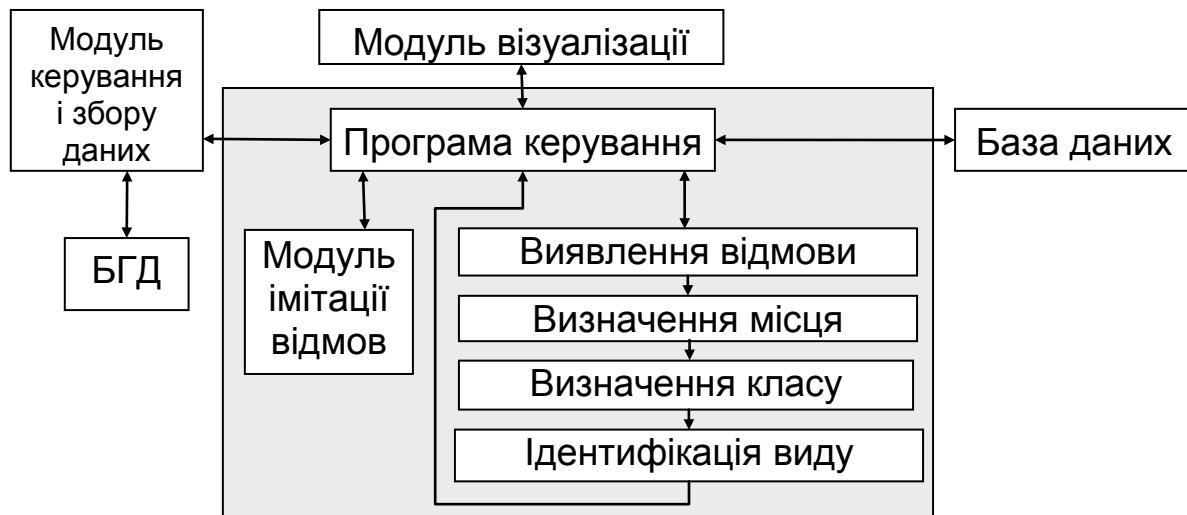


Рис. 2.4. Схема взаємодії програми керування з іншими модулями

Процес діагностики починається з виявлення відмови в БГД і закінчується, коли визначається вид відмови в системі. Розглянуті відмови поділено на чотири класи:

- «Обрив» має три підвиди відмов d1–d3;
- «Дрейф» – чотири підвиди d4–d7;
- «Коефіцієнт» – п'ять підвидів відмов d8–d12,
- «Дрейф-Коефіцієнт» – підвиди d13–d32.

Для вивчення продуктивності ДМ виникає необхідність імітувати різні види відмов у вихідних сигналах датчиків.

2.4. Математична модель забезпечення відмовостійкості

Виявлення наявності відмови в БГД визначає зниження продуктивності цього блока. Відмова може статися в момент будь-якого робочого процесу, тому БГД має перебувати під постійним контролем, тобто сигнали всіх датчиків слід перевіряти для того, щоб визначити зміни їх робочих якостей.

Моніторинг і керування процесом (рис. 2.5) здійснюються програмою керування, яка в певний момент часу перевіряє стан системи і її справність. У цей момент програма керування виконує перший крок діагностування – виявлення відмови в БГД і, в разі її наявності, переходить

до наступних кроків. В іншому випадку, якщо жодних відхилень, що впливають на продуктивність системи, не виявлено, програма керування повертається до керування БГД.

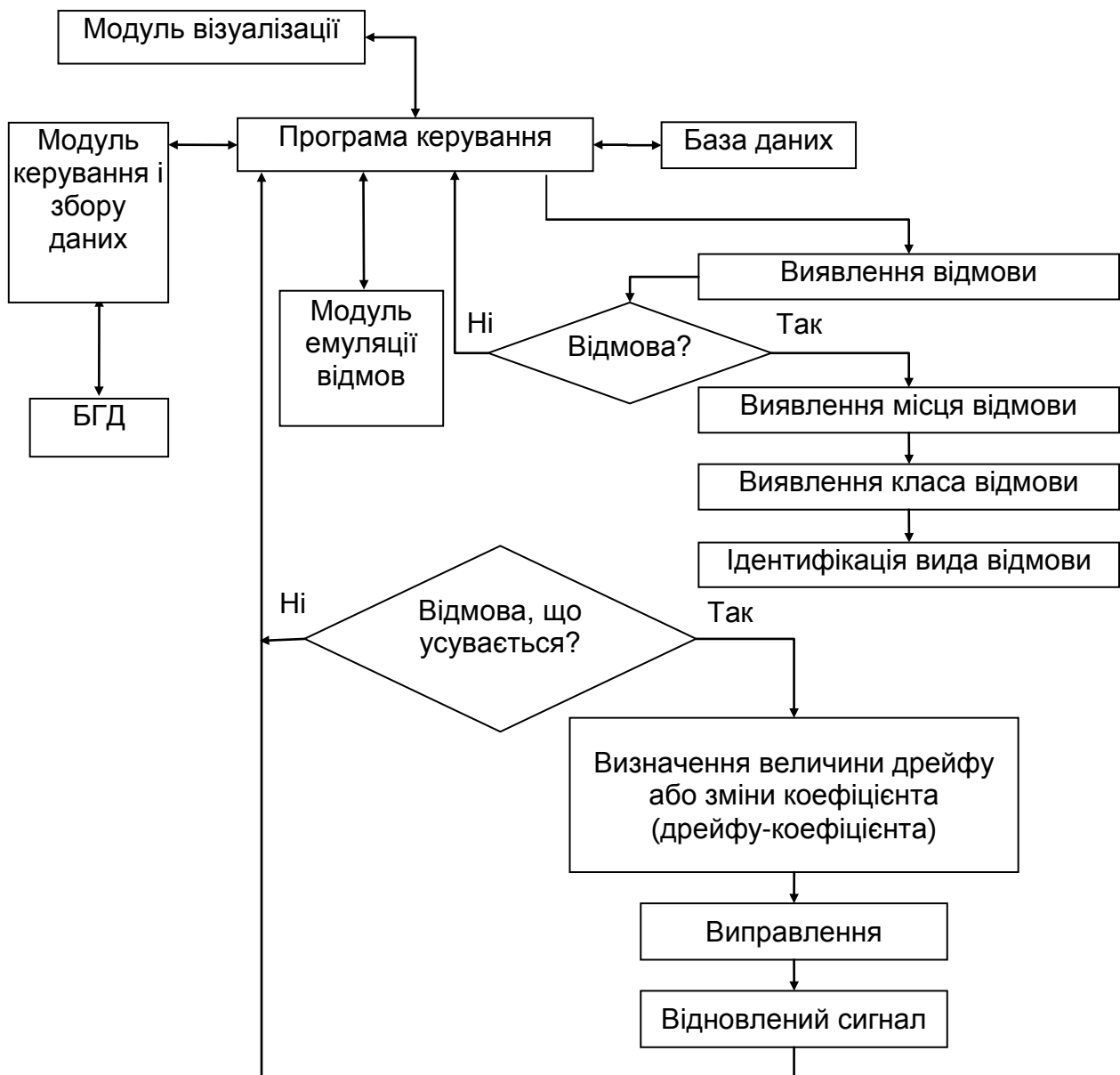


Рис. 2.5. Загальна схема забезпечення відмовостійкості БГД

2.5. Принцип виявлення відмови і визначення її місця

Першим кроком застосування ДМ у БГД є виявлення відмов, що полягає у перевірці вихідних сигналів БГД з метою визначення наявності відмов. Визначення відмови в системі ґрунтується на порівнянні сигналів датчиків із попередньо обчисленими даними. Повну схему порівняння для виявлення відмов і їх місць зображено на рис. 2.6. Виконано перехід до

дискретного часу через те, що оброблення сигналів виконується в цифровому вигляді.

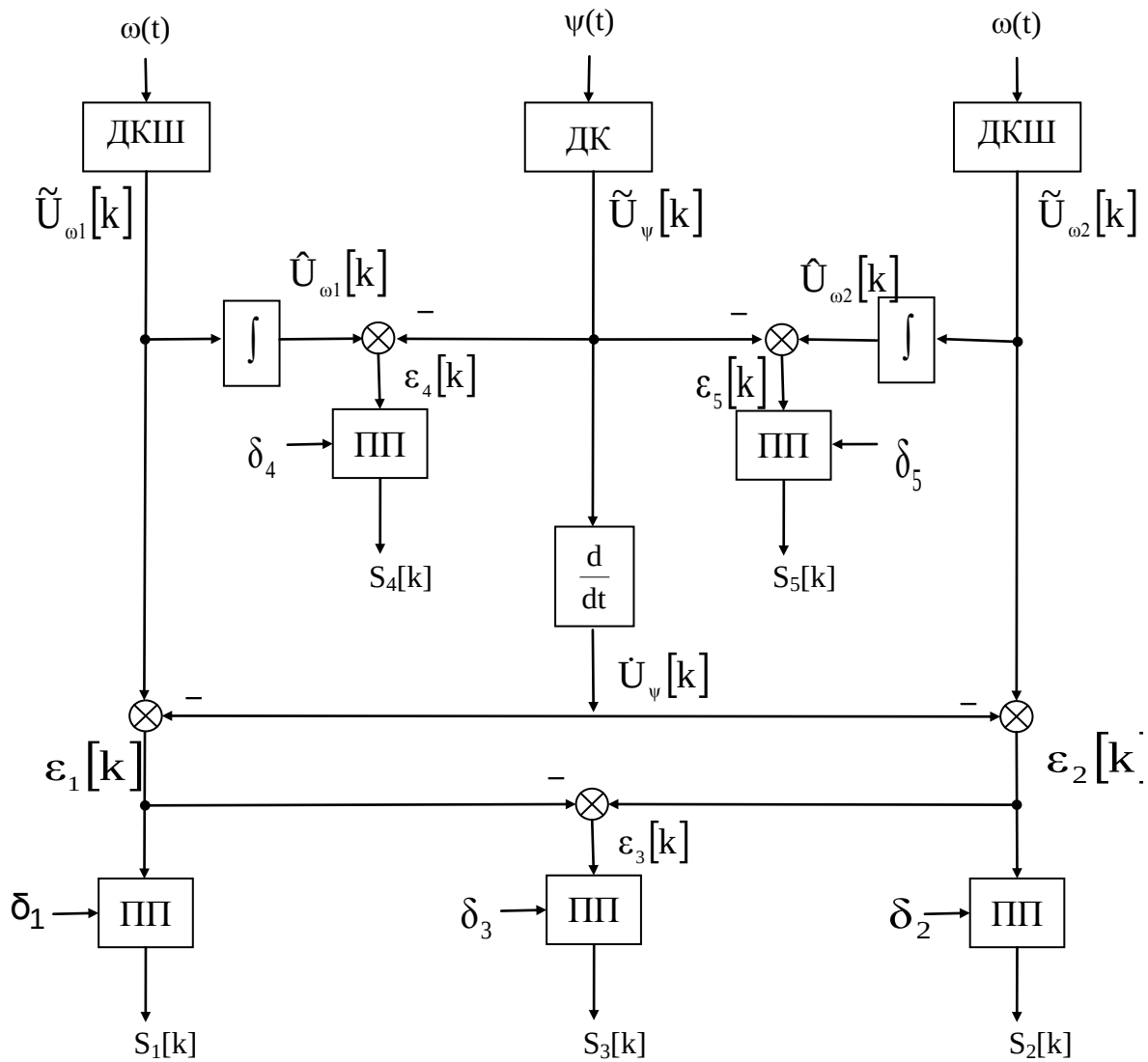


Рис. 2.6. Схема для виявлення відмов і пошуку їх місця

Значення $\epsilon_i[k]$ обчислюють як відмінність між сигналами датчиків:

$$\begin{cases} \epsilon_1[k] = \tilde{U}_{\omega 1}[k] - \dot{U}_{\psi}[k]; \\ \epsilon_2[k] = \tilde{U}_{\omega 2}[k] - \dot{U}_{\psi}[k]; \\ \epsilon_3[k] = \tilde{U}_{\omega 2}[k] - \tilde{U}_{\omega 1}[k]; \\ \epsilon_4[k] = \hat{U}_{\omega 2}[k] - \tilde{U}_{\psi}[k]; \\ \epsilon_5[k] = \hat{U}_{\omega 1}[k] - \tilde{U}_{\psi}[k], \end{cases} \quad (2.3)$$

де $\epsilon_1[k]$ – різниця між ДКС₁ і похідною виходу ДК; $\epsilon_2[k]$ – різниця між ДКС₂ і похідною виходу ДК; $\epsilon_3[k]$ – різниця між ДКС₂ і ДКС₁;

$\varepsilon_4[k]$ – різниця між числовим інтегруванням ДКШ₂ і ДК; $\varepsilon_5[k]$ – різниця між числовим інтегруванням ДКШ₁ і ДК; $\tilde{U}_{\omega 1}[k]$ – вихідний сигнал ДКШ₁; $\hat{U}_{\omega 1}[k]$ – числове інтегрування ДКШ₂; $\tilde{U}_{\omega 2}[k]$ – вихідний сигнал ДКШ₂; $\hat{U}_{\omega 2}[k]$ – числове інтегрування ДКШ₂; $\tilde{U}_{\psi}[k]$ – вихідний сигнал ДК; $U'_{\psi}[k]$ – похідна виходу ДК; $k = 1, 2, 3, \dots, N$ – дискретні моменти часу.

Елементи порогових пристроїв (ПП) відповідають за обмеження помилок сигналу. Ці межі визначаються допустимими значеннями $\delta_1 - \delta_5$, а ПП генерують відповідні показники, якщо відмінності між сигналами перевищують допустимі значення. Показники ПП визначають так:

$$\begin{aligned} S_1[k] &= \left\{ \left| \tilde{U}_{\omega 1}[k] - \dot{U}_{\psi}[k] \right| > \delta_{s1} \right\}; \\ S_2[k] &= \left\{ \left| \tilde{U}_{\omega 2}[k] - \dot{U}_{\psi}[k] \right| > \delta_{s2} \right\}; \\ S_3[k] &= \left\{ \left| \tilde{U}_{\omega 2}[k] - \tilde{U}_{\omega 1}[k] \right| > \delta_{s3} \right\}; \\ S_4[k] &= \left\{ \left| \hat{U}_{\omega 2}[k] - \tilde{U}_{\psi}[k] \right| > \delta_{s4} \right\}; \\ S_5[k] &= \left\{ \left| \hat{U}_{\omega 1}[k] - \tilde{U}_{\psi}[k] \right| > \delta_{s5} \right\}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $S_i[k] \in [0,1]$ – показники наявності відмов; δ_{si} – порогові значення; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Показники $S_i[k]$ переводять опис стану БГД у двоїсту логіку: 1 означає наявність відмови в системі, в той час як 0 – відсутність відмов. Тоді можна ввести показник

$$S'_{S_i} = \left\{ N_{S_i} > \rho'_{S_i} \right\}, \quad (2.5)$$

де $S'_{S_i} \in [0,1]$ – показник надійності для виявлення відмов;

$N_{S_i} = \sum_{k=0}^{k=N} S_i[k]$ – лічильник ненульових значень $S_i[k]$ за певний період тестування; ρ'_{S_i} – поріг надійності для виявлення відмови, $i = 1, 2, 3, \dots, 5$.

Визначення відмови в системі опишемо так:

$$z_0 = \bigcup_{i=1}^5 S'_{S_i}. \quad (2.6)$$

Якщо в системі індикатор відмови $z_0 = 0$, БГД працює в нормальних умовах, але якщо $z_0 = 1$, це свідчить про наявність несправності і необхідність знайти її місце.

У табл. 2.3 наведено можливі комбінації індикаторів відмов і відповідні їм співвідношення сигналів гіроскопічних датчиків. Як бачимо, табл. 2.3 містить індикатори S_4 і S_5 , які зображено на рис. 2.7, оскільки вони є доповненням до основного процесу, тобто вони необхідні для визначення певних видів відмов в БГД, що мають характеристики деяких типів несправностей.

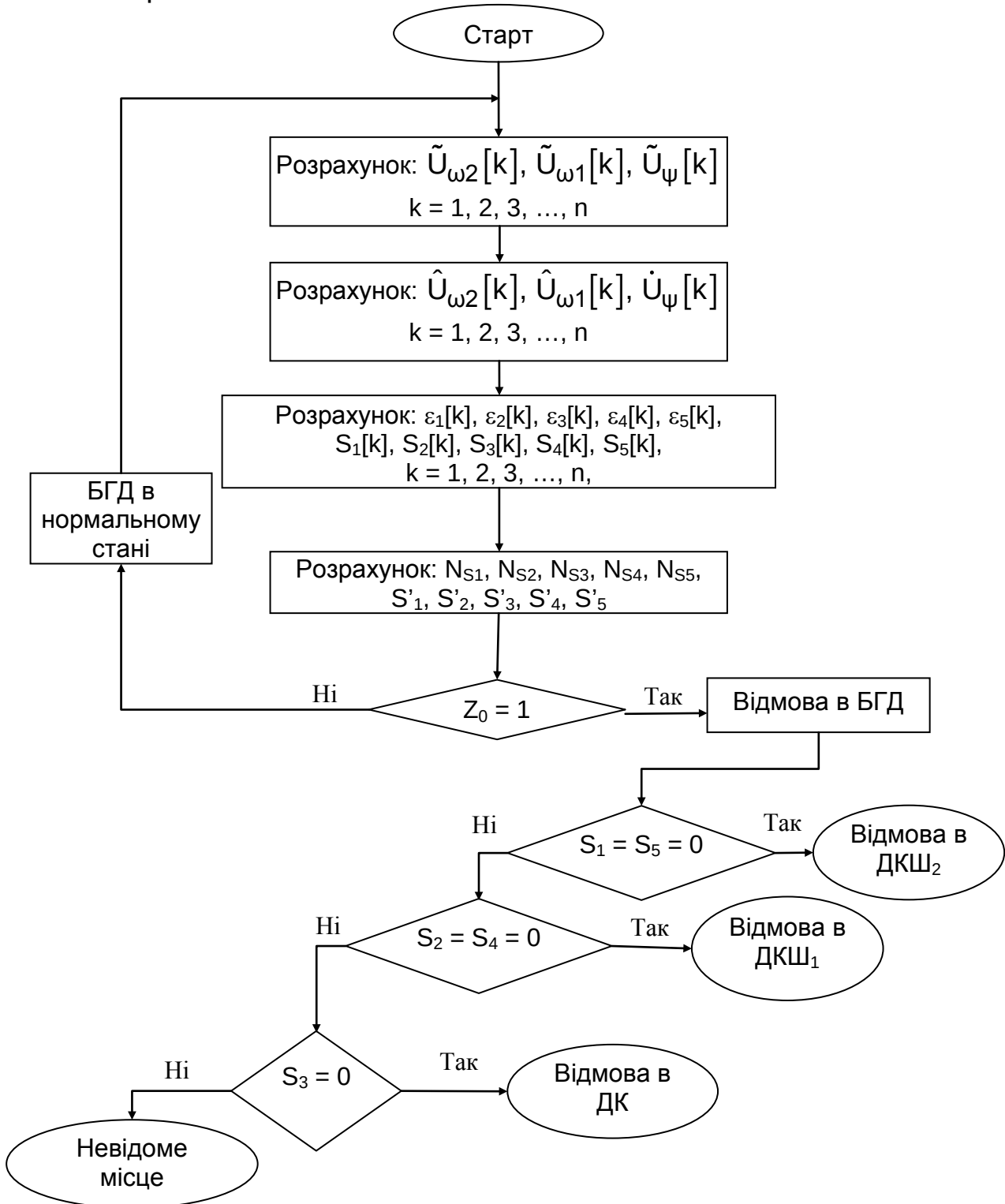


Рис. 2.7. Блок-схема для виявлення відмови і її місця

З таблиці можна вивести правила визначення місця відмови:

якщо $S_1 = S_5 = 0$, тоді відмова в ДКШ₂;

якщо $S_2 = S_4 = 0$, тоді відмова в ДКШ₁;

якщо $S_3 = 0$, тоді відмова в ДК.

У процесі пошуку місця відмови можуть бути виявлені певні види відмов за допомогою індикаторів S_1 , S_2 і S_3 ; у даному випадку індикатори S_4 і S_5 слід використовувати для перевірки продуктивності БГД.

Таблиця 2.3

Індикатори визначення місця відмови

<i>Індикатори</i>	<i>ДКШ2</i>	<i>ДКШ1</i>	<i>ДК</i>
S_1	0	1	1
S_2	1	0	1
S_3	1	1	0
S_4	1	0	1
S_5	0	1	1

Якщо в результаті пошуку місця розташування відмови не можна визначити, в яких саме датчиках відбулася відмова, діагностична програма змушена буде повернутися до основної програми цієї діагностики і блок-схеми, яку використовують для виявлення відмов і пошуку їх розташування в БГД (див. рис. 2.7).

2.6. Визначення класу відмови

Згідно з блок-схемою, зображеною на рис. 2.5, як тільки відмова і помилка датчика будуть визначені, необхідно вказати клас цієї відмови. Діагностичний алгоритм для визначення класу відмови можна поділити на 32 види відмов, об'єднаних у чотири можливих класи.

ДМ для кожного класу будується на базі відповідних математичних моделей БГД із врахуванням характеристик несправностей. Вони дозволяють зробити коректний аналіз сигналів і показників для визначення класу відмови в належному порядку, як зображено на рис. 2.8.

Показники Z'_{Bi} , Z'_{Di} , Z'_{Ci} і Z'_{Mi} є відповідними показниками надійності, що наведені в математичній формі нижче для кожного класу відмови. Індекс i визначає датчик, для якого показник було застосовано: для ДКШ₁ $i = \omega_1$, для ДКШ₂ $i = \omega_2$ і для ДК $i = \psi$.

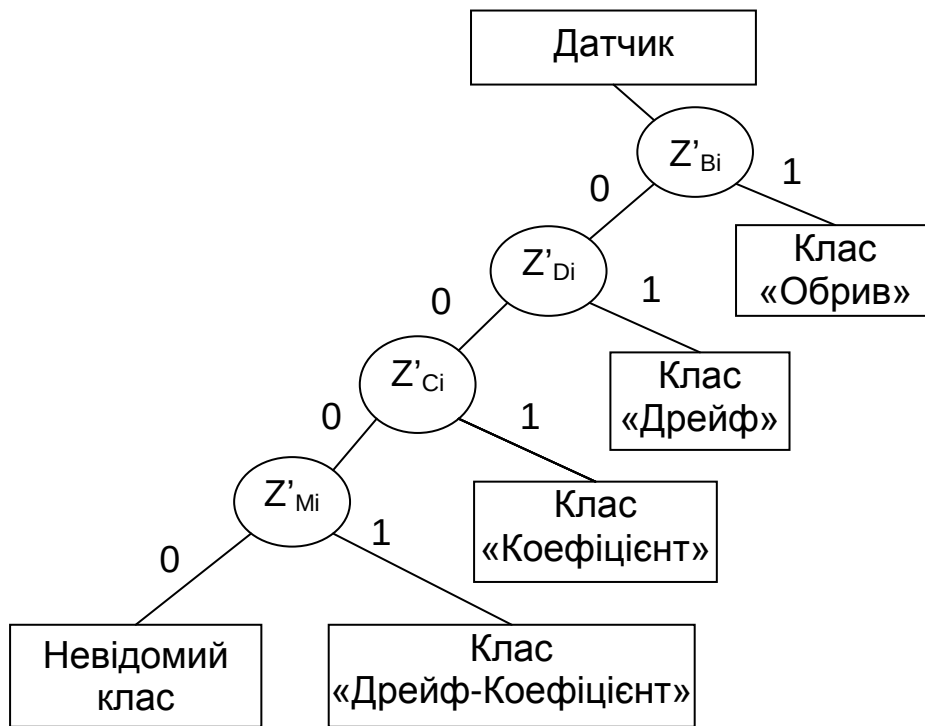


Рис. 2.8. Дихотомічне дерево визначення класу відмов

2.6.1. Математична модель класу відмов «Обрыв»

Цей клас характеризується постійною напругою на виході несправного датчика через роз'єднання кабелю в результаті надмірної напруги. Індекс i належить до будь-якого з трьох гіроскопічних датчиків.

Статичні характеристики відмов даного класу були відображені на рис. 2.3,в, а математична модель може бути подана у вигляді

$$Z_{Bi}[k] = \left\{ \left| \tilde{U}[k+1] - \tilde{U}[k] \right| < \delta_{Bi} \right\}, \quad (2.7)$$

де $Z_{Bi}[k] \in [0,1]$ – індикатор класу "Обрыв"; $\tilde{U}[k]$ – вихід несправного датчика; δ_{Bi} – поріг чутливості для класу "Обрыв", $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Індикатор $Z_{Bi}[k]$ визначає, чи сигнал від несправного датчика є "постійним" відповідно до граничного значення δ_{Bi} . Розв'язком рівняння (2.7) буде приблизно 0, якщо сигнал $\tilde{U}[k]$ є постійною або майже постійною величиною. Обчислення індикатора $Z_{Bi}[k]$ необхідно провести в певному інтервалі часу і отримати показник надійності

$$Z'_{Bi} = \{N_{Bi} > \rho_{Bi}\}, \quad (2.8)$$

де Z'_{Bi} – індикатор для класу «Обрив»; $N_{Bi} = \sum_{k=0}^{k=N} Z_{Bi}[k]$ – лічильник

ненульових результатів в тестовому інтервалі; ρ_{Bi} – коефіцієнт довіри для класу «Обрив», що можна для початку встановити на рівні 50 % від загального числа значень N , використаних для діагностики.

Змінна N_{Bi} свідчить про те, скільки разів одиниця зустрічається серед значень індикатора Z_{Bi} . Якщо ця кількість перевищує поріг ρ_{Bi} , показник надійності $Z_{Bi} = 1$ вказує на належність відмови до цього класу. Графік, що візуалізує поведінку сигналів і операцій для встановлення цього класу, показано на рис. 2.9.

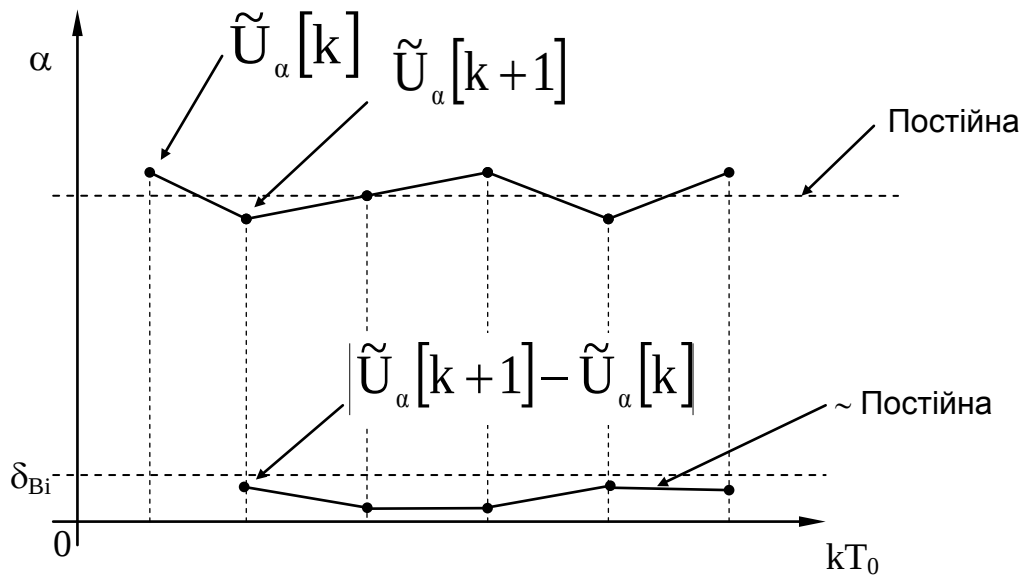


Рис. 2.9. Схематичний графік для виявлення класу відмов «Обрив»

2.6.2. Математична модель класу відмов «Дрейф»

Згідно з процесом, зображеним на рис. 2.8, клас відмов «Дрейф» має бути перевірений відразу після класу «Обрив» у разі, якщо останній призвів до «помилкового» результату. Клас «Дрейф» характеризується постійним переміщенням між сигналами відмови датчиків і сигналами інших, справних, датчиків. Для того щоб визначити цей клас відмови, має бути отримано середнє значення двох виявлених сигналів відмови з аналогічними характеристиками за допомогою рівняння

$$\Delta \varepsilon_D[k] = \frac{\varepsilon_{D1}[k] + \varepsilon_{D2}[k]}{2}, \quad (2.9)$$

де $\Delta \varepsilon_D[k]$ – середнє значення сигналів відмови датчиків порівняно зі значенням сигналів нормального стану; $\varepsilon_{D1}[k]$ – перший сигнал помилки

порівняно із сигналом нормального стану ; $\varepsilon_{D2}[k]$ – другий сигнал помилки порівняно із сигналом нормального стану; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Наприклад, якщо існує відмова датчика ДКШ2, то $S_1 = S_5 = 0$ і $S_2 = S_3 = S_4 = 1$. Ці три останні показники є порушенням і їх відповідні характеристики відмови будуть такими: $\varepsilon_2[k]$, $\varepsilon_3[k]$ і $\varepsilon_4[k]$, але в даному випадку $\varepsilon_2[k]$ і $\varepsilon_3[k]$ будуть використані у виразі (2.9), оскільки вони мають подібні характеристики сигналу. Подібні випадки будуть траплятися залежно від відмови датчика. Наочний приклад для визначення цього класу відмов і його характеристик показано на рис. 2.10.

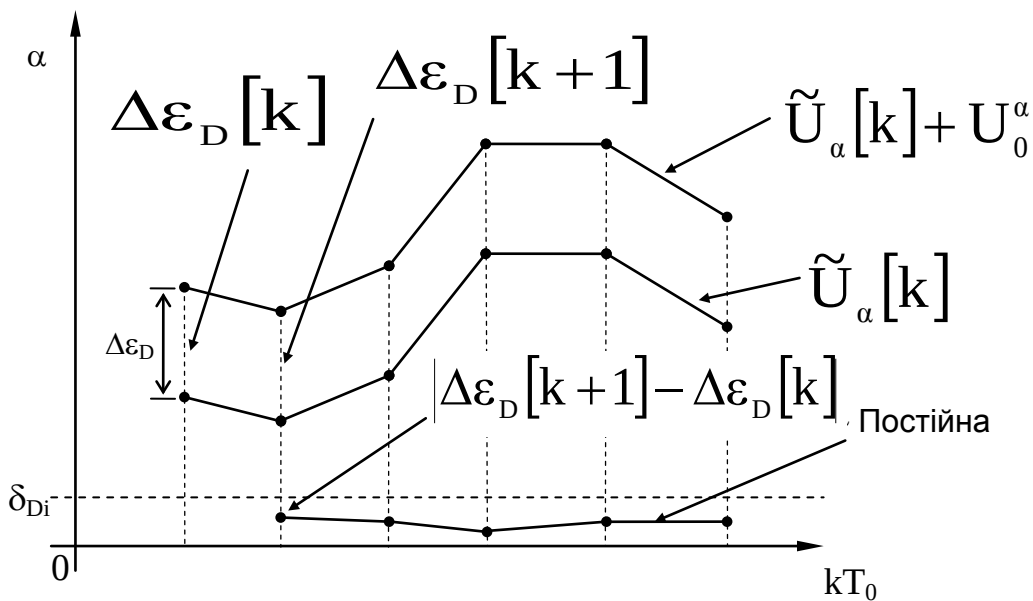


Рис. 2.10. Графічний приклад для визначення класу відмов «Дрейф»

Коли отримано середнє значення $\Delta \varepsilon_D[k]$ сигналів помилки порівняно з сигналами нормального стану, індикатор класу «Дрейф» та відповідний показник надійності розраховують за формулами:

$$Z_{Di}[k] = \{|\Delta \varepsilon_D[k+1] - \Delta \varepsilon_D[k]| > \delta_{Di}\}, \quad (2.10)$$

де $Z_{Di}[k]$ – індикатор класу «Дрейф»; $\varepsilon_D[k]$ – середнє значення сигналів відмови датчиків порівняно з сигналами нормального стану; δ_{Di} – поріг чутливості класу «Дрейф»; $k = 1, 2, 3, \dots, N$;

$$Z'_{Di} = \{N_{Di} > \rho_{Di}\}, \quad (2.11)$$

де Z'_{Di} – індикатор класу «Дрейф»; N_{Di} – лічильник коректних відповідей в $Z_{Di}[k]$; ρ_{Di} – коефіцієнт довіри класу «Дрейф».

2.6.3. Математична модель класу відмов «Коефіцієнт» і «Дрейф-Коефіцієнт»

Види відмов, які викликають зміни коефіцієнта передачі датчика описують двома класами, при цьому відмови класу «Дрейф-Коефіцієнт» являють собою відхилення напруги сигналу датчика із зміною його коефіцієнта передачі. На основі досліджень і експериментів [28,31] класи відмов «Коефіцієнт» і «Дрейф-Коефіцієнт» можуть бути визначені шляхом моніторингу наявності будь-якої зміни коефіцієнта передачі будь-якого гіроскопічного датчика. Для отримання ДМ визначення цих класів слід одержати середнє значення сигналів від двох датчиків, які працюють коректно:

$$\tilde{U}_c[k] = \frac{U_1[k] + U_2[k]}{2}, \quad (2.12)$$

де $\tilde{U}_c[k]$ – середнє значення сигналів; $U_1[k]$ – значення першого датчика, що працює коректно; $U_2[k]$ – значення другого датчика, що працює коректно; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Це значення можна використати для розрахунку зміни коефіцієнта передачі несправного датчика:

$$K[k] = \frac{U_i[k]}{\tilde{U}_c[k]}, \quad (2.13)$$

де $K[k]$ – різниця значень коефіцієнтів передачі; $U_i[k]$ – сигнал датчика з відмовою; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Після цього слід розрахувати сумарне відхилення коефіцієнта передачі:

$$\bar{K} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N K[k], \quad (2.14)$$

де $\bar{K}$ – середнє значення зміненого коефіцієнта.

Приклад визначення класу «Коефіцієнт» показано на рис. 2.11. Цей приклад також можна застосувати для визначення класу «Дрейф-Коефіцієнт», різниця буде полягати лише в тому, що сигнал $|K[k] - 1|$ буде перевищувати граничне значення δ_{Mi} – поріг чутливості класу «Дрейф-Коефіцієнт».

Крім отримання середнього значення зміни коефіцієнта передачі, мають бути також одержані відповідні показники для кожного класу:

$$Z_{Ci}[k] = \{|K[k] - 1| < \delta_{Ci}\}, \quad (2.15)$$

де $Z_{Ci}[k]$ – індикатор класу «Коефіцієнт»; δ_{Ci} – поріг чутливості класу «Коефіцієнт»; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

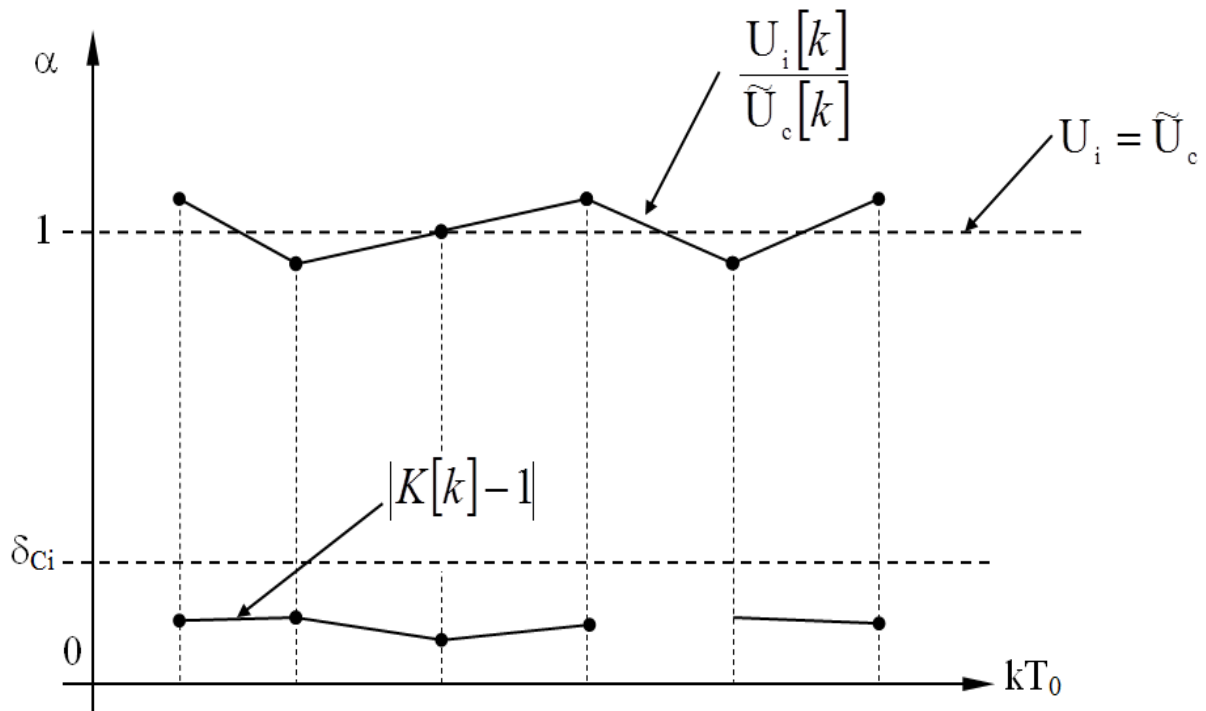


Рис. 2.11. Графічний приклад визначення класу «Коефіцієнт»

Блок-схему алгоритму визначення класу відмови наведено в дод. 1.

2.7. Визначення виду відмови

До цього часу математичні моделі для виявлення відмов, їх місця в БГД і їх класів були подані у вигляді ДМ. Тепер необхідно змоделювати вид відмов, які можуть виникнути в БГД. Для вирішення цього завдання необхідно з'ясувати специфічні характеристики кожного класу відмов, їх показники, параметри і вплив кожного конкретного класу відмови на сигнали датчиків.

2.7.1. Математична модель для визначення виду відмов

У попередніх підрозділах було розглянуто, вивчено і проаналізовано специфічні характеристики чотирьох можливих класів відмов. Аналіз і результати виявлення відмов, їх місце і клас будуть використовуватися для визначення виду відмови за допомогою алгоритму.

Він дозволить знайти відношення, особливі характеристики і значення відмов на основі математичної моделі для визначення конкретного виду відмови залежно від її конкретних характеристик і впливу

на поведінку БГД. Цей алгоритм доповнить множину ДМ і їх оброблення, таким чином формуючи повне діагностичне забезпечення БГД.

2.7.2. Математична модель для визначення виду відмов класу «Обрив»

Цей клас об'єднує три види відмов (d_1 - d_3), які вже описані в табл. 2.2. згідно з конкретними характеристиками сигналів для даного класу відмов, показаними на рис. 2.3, в.

Дихотомічне дерево для виявлення відмов класу «Обрив» зображено на рис. 2.12.

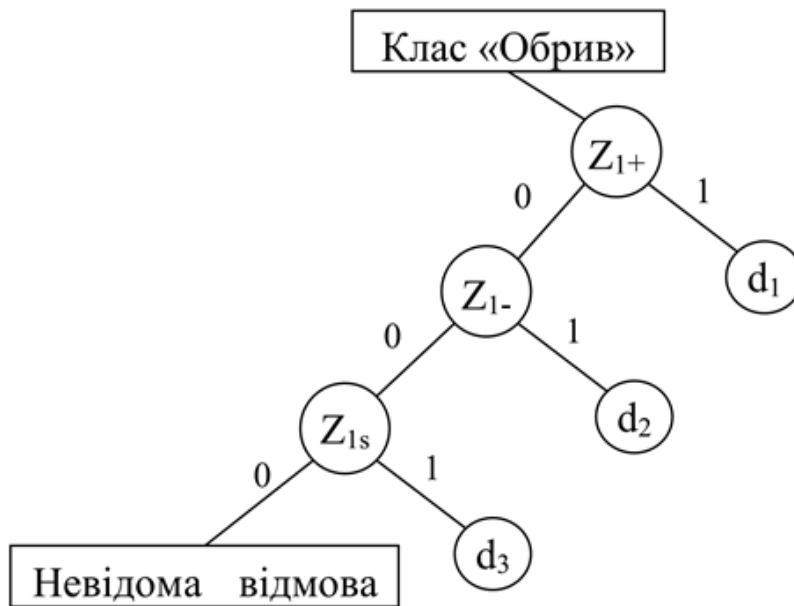


Рис. 2.12. Дихотомічне дерево для визначення видів відмов класу «Обрив»

У разі, якщо стався обрив позитивного проводу живлення, вихідний результат датчика, що працює некоректно, буде наближеним до негативної напруги (d_1). В іншому випадку — при обриві негативного проводу живлення — на виході датчика буде визначатися постійна позитивна напруга (d_2). Останній вид відмов цього класу належить до того випадку, коли пошкоджено сигнальний провід, тобто постійна напруга несправного датчика дорівнює нулю (d_3).

Характеристики сигналів відмов вже були наведено в попередніх підрозділах, після цього може бути розглянута необхідність їх ідентифікації та область застосування. Значення показників для ідентифікації кожного виду відмови класу «Обрив» розраховують за формулами:

$$\begin{aligned}
 Z_{1-} &= \{U_{\min} + \delta_{tb} < U_{\delta} < U_{\min} - \delta_{tb}\} ; \\
 Z_{1+} &= \{U_{\max} + \delta_{tb} > U_{\delta} > U_{\max} - \delta_{tb}\} ; \\
 Z_{1s} &= \{\delta_{tb} > U_{\delta} > -\delta_{tb}\} ,
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

де Z_{1+} – індикатор обриву позитивного проводу живлення; Z_{1-} – індикатор обриву негативного проводу живлення; Z_{1s} – індикатор обриву сигнального проводу; U_{δ} – вихідне значення напруги несправного датчика; $U_{\max}$ – максимальне значення напруги; $U_{\min}$ – мінімальне значення напруги; δ_{tb} – допуск для визначення даного виду відмови.

2.7.3. Математична модель для визначення виду відмов класу «Дрейф»

Клас «Дрейф» визначається чотирма видами відмов d_4 - d_7 (див. табл. 2.2). Відмовами цього класу є постійне відхилення напруги на виході несправного датчика. Це відхилення може бути параметрично компенсованим (переборним) або ж некомпенсованим (непереборним). Компенсація залежить від порогового значення при незворотній відмові δ_D . Дихотомічне дерево цих видів відмов зображено на рис. 2.13.

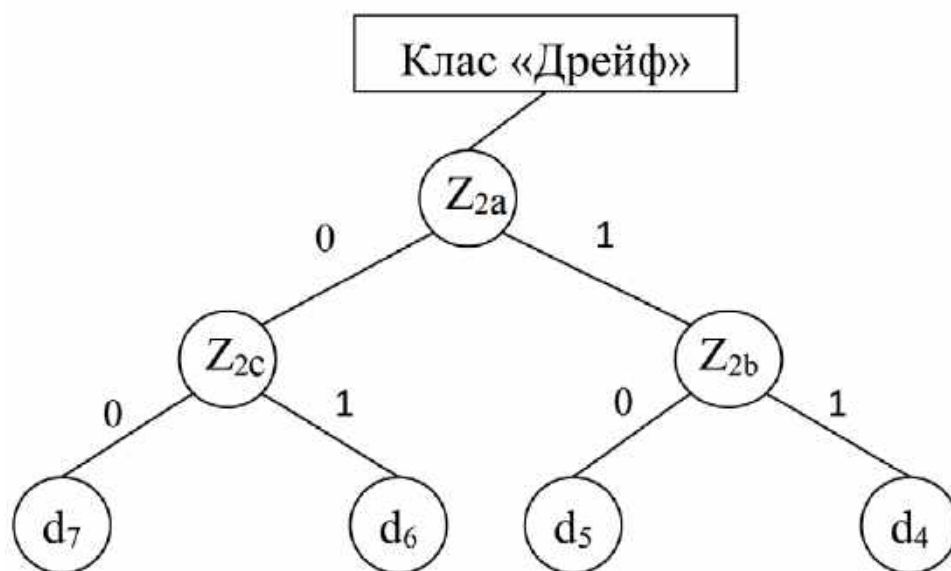


Рис. 2.13. Дихотомічне дерево для визначення видів відмов класу «Дрейф»

Позначення на рис. 2.13 відображають кожен конкретний випадок для даного класу відмов і описуються такими формулами:

$$\begin{aligned} Z_{2a} &= \{\Delta \bar{\varepsilon} > 0\}; \\ Z_{2b} &= \{\Delta \bar{\varepsilon} > \delta_D\}; \\ Z_{2c} &= \{\Delta \bar{\varepsilon} < -\delta_D\}, \end{aligned} \quad (2.17)$$

де Z_{2a} – індикатор позитивного дрейфу; Z_{2b} – індикатор дрейфу нуля позитивного незворотного; Z_{2c} – індикатор дрейфу нуля негативного

незворотного; δ_D – поріг визначення незворотного дрейфу; $\Delta\bar{\varepsilon}$ – середнє значення;

$$\Delta\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \Delta\varepsilon[k], \quad (2.18)$$

де $\Delta\varepsilon[k]$ – середнє значення помилкових сигналів у співвідношенні з нормальним станом (2.9).

2.7.4. Математична модель для визначення виду відмов класу «Коефіцієнт»

Відмови цього класу належать до тих, які пов'язані зі змінами коефіцієнта передачі. Ці відмови поділено на п'ять видів (d_8 - d_{12} , див. табл. 2.2). Дихотомічне дерево для визначення відмов, викликаних змінами в коефіцієнті передачі, показано на рис. 2.14.

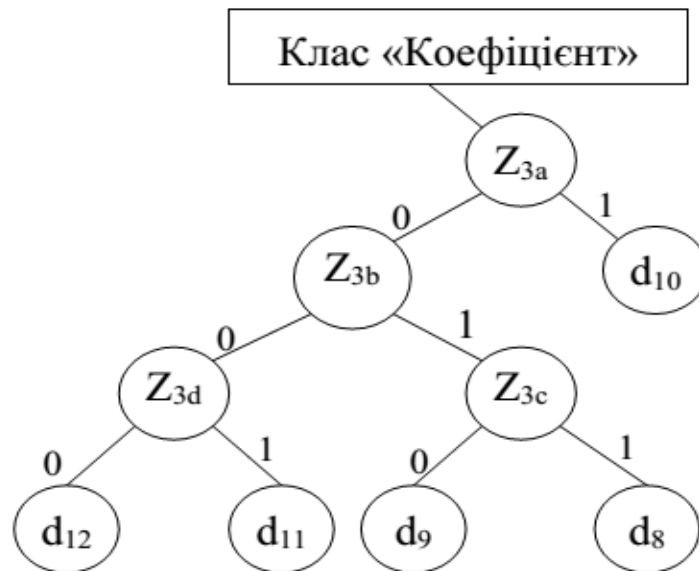


Рис. 2.14. Дихотомічне дерево для визначення відмов класу «Коефіцієнт»

Значення, що пояснюють визначення цих видів відмов, наведено в таких рівняннях:

$$\begin{aligned} Z_{3a} &= \{-K_i + 0.01K_i > \bar{K} > -K_i - 0.01K_i\}; \\ Z_{3b} &= \{0 < \bar{K} > K_i - 0.01K_i\}; \\ Z_{3c} &= \{\bar{K} < 0.1K_i\}; \\ Z_{3c} &= \{\bar{K} > -0.1K_i\}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де Z_{3a} – індикатор переорієнтації коефіцієнта передачі; Z_{3b} – індикатор зменшення коефіцієнта передачі датчика; Z_{3c} – переборні зменшення

коефіцієнта передачі датчика; Z_{3d} – переорієнтація і переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика; $\bar{K}$ – середнє значення зміни коефіцієнта в (2.14); K_i – номінальне значення коефіцієнта несправного датчика.

2.7.5. Математична модель для визначення видів відмов класу «Дрейф-Коефіцієнт»

Клас «Дрейф-Коефіцієнт» є об'єднанням двадцяти відмов (d_{13} - d_{32} , див. табл. 2.2). Ці види відмов є дрейфами напруги і змінами коефіцієнта передачі на виході несправного датчика. Для того, щоб визначити ці види відмов, необхідно отримати середнє значення $\bar{U}_i$ індикатора несправного датчика:

$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N U_i[k], \quad (2.20)$$

де $U_i[k]$ – сигнал датчика, що відмовив.

Необхідні індикатори для визначення видів відмов цього класу показано на дихотомічному дереві (рис. 2.15), а для обчислення індикаторів слід скористатися такими формулами:

$$\begin{aligned} Z_{4a} &= \{\bar{U}_i > 0\}; \\ Z_{4b} &= Z_{4k} = \left\{ \frac{\bar{K}}{2} > 0 \right\}; \\ Z_{4c} &= Z_{4l} = \left\{ \frac{\bar{K}}{2} < 0.1K_i \right\}; \\ Z_{4e} &= Z_{4d} = Z_{4g} = Z_{4j} = Z_{4i} = \{\bar{U}_i > \delta_M\}; \\ Z_{4f} &= Z_{4o} = \left\{ -\delta_{Mmin} \geq \frac{\bar{K}}{2} \geq -\delta_{Mmax} \right\}; \\ Z_{4h} &= Z_{4q} = \left\{ \frac{\bar{K}}{2} \geq -0.1K_i \right\}; \\ Z_{4m} &= Z_{4n} = Z_{4p} = Z_{4r} = Z_{4s} = \{\bar{U}_i < -\delta_M\}, \end{aligned} \quad (2.21)$$

де Z_{4a} – показник позитивного дрейфу; Z_{4b} , Z_{4k} – показники позитивної зміни коефіцієнта передачі; Z_{4c} , Z_{4l} – показники переборного позитивного зменшення коефіцієнта передачі датчика; Z_{4e} , Z_{4d} , Z_{4g} , Z_{4j} , Z_{4i} – показники неусувного позитивного дрейфу; Z_{4f} , Z_{4o} – показники переорієнтації датчика; Z_{4h} , Z_{4q} – показники переборного негативного зменшення коефіцієнта передачі датчика; Z_{4m} , Z_{4n} , Z_{4p} , Z_{4r} , Z_{4s} – показники неусувного негативного дрейфу датчика; δ_M – порогове значення непереборного дрейфу; δ_{Mmax} , δ_{Mmin} – порогові значення коефіцієнтів передачі.

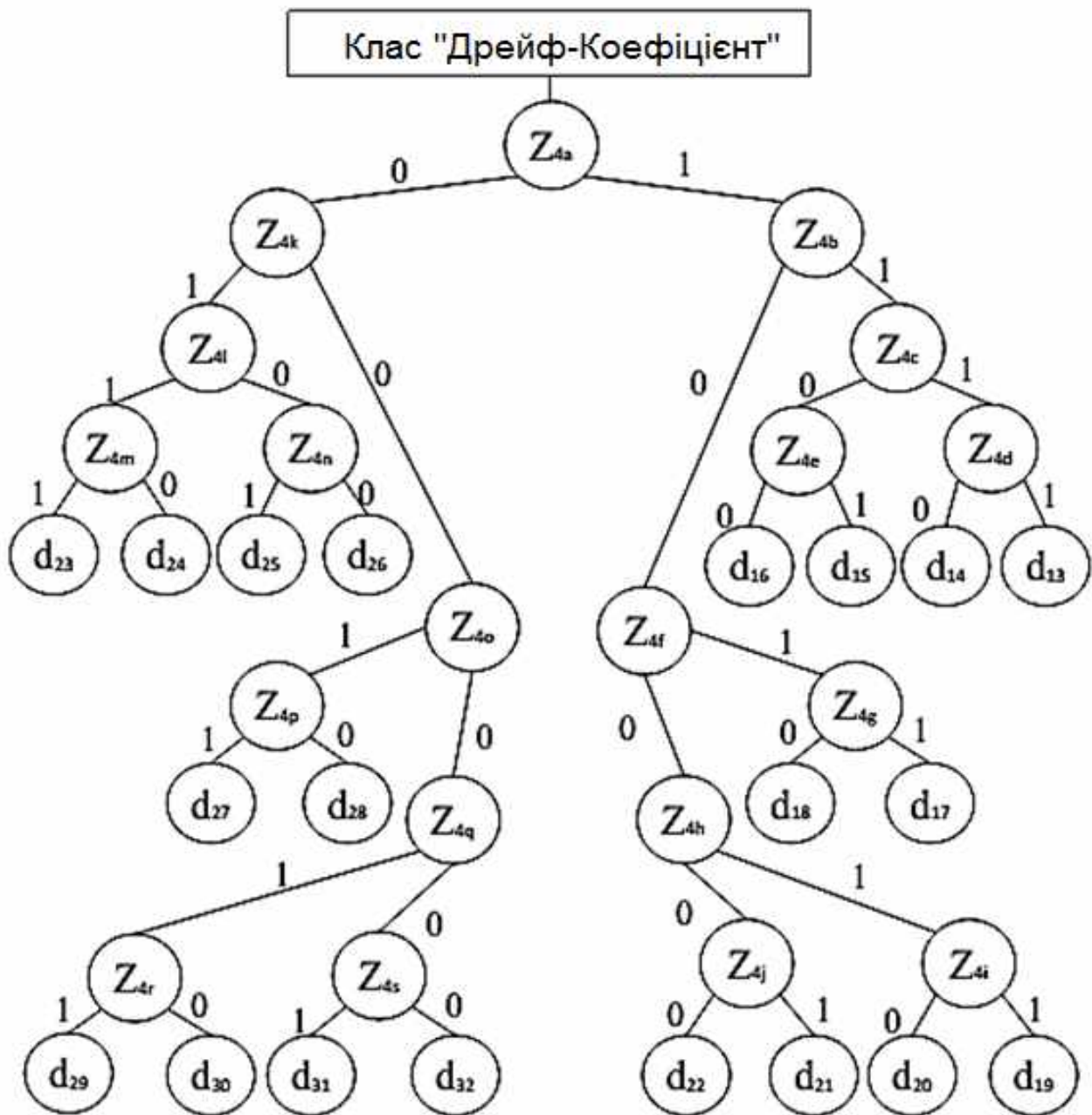


Рис. 2.15. Дихотомічне дерево відмов класу «Дрейф-Коефіцієнт»

2.8. Методи відновлення дієздатності БГД

Наступним етапом функціонування відмовостійкої системи після отримання негативних діагнозів є відновлення оптимального рівня продуктивності в системі. Процедура відновлення стає можливою завдяки певним скороченням резервування системи, таких, наприклад, як параметричний і структурний сигнал. Параметричне резервування полягає в наявності в системі активних резервів, стабільності та іншого.

Сигнал резервування дозволяє вимірювати некоректний сигнал порівняно з коректним. Структурне резервування дозволяє замінити сигнал несправного датчика на сигнал справного з нормальною

продуктивністю і аналогічними характеристиками, наприклад, замінити сигнал з ДКШ₁ сигналом з ДКШ₂.

У табл. 2.4 наведено порівняльний аналіз відмов і надлишковостей системи для кожного датчика в БГД, а також зазначено, при яких видах несправностей є можливим відновлення дієздатності. Далі розглянемо безпосередньо математичні моделі і процедури для відновлення сигналу при різних видах відмов.

Таблиця 2.4

Аналіз відмов і надлишковостей для кожного датчика в БГД

<i>Датчики</i>	<i>ДКШ₁ и ДКШ₂</i>			<i>ДК</i>	
	<i>Параметрична</i>	<i>Сигнальна</i>	<i>Структурна</i>	<i>Параметрична</i>	<i>Сигнальна</i>
d ₁		+	+		+
d ₂		+	+		+
d ₃		+	+		+
d ₄		+	+		+
d ₅	+	+	+	+	+
d ₆	+	+	+	+	+
d ₇		+	+		+
d ₈	+	+	+	+	+
d ₉		+	+		+
d ₁₀	+	+	+	+	+
d ₁₁	+	+	+	+	+
d ₁₂		+	+		+
d ₁₃		+	+		+
d ₁₄	+	+	+	+	+
d ₁₅		+	+		+
d ₁₆		+	+		+
d ₁₇		+	+		+
d ₁₈	+	+	+	+	+
d ₁₉		+	+		+
d ₂₀	+	+	+	+	+
d ₂₁		+	+		+
d ₂₂		+	+		+
d ₂₃		+	+		+
d ₂₄	+	+	+	+	+
d ₂₅		+	+		+
d ₂₆		+	+		+
d ₂₇		+	+		+
d ₂₈	+	+	+	+	+
d ₂₉		+	+		+
d ₃₀	+	+	+	+	+
d ₃₁		+	+		+
d ₃₂		+	+		+

Неусувний дрейф напруги. Відмови такого виду можуть бути усунені лише за допомогою сигналу або структурної надлишковості.

Відновлення сигналу ДК може бути виконано з використанням інформації від двох інших датчиків кутової швидкості:

$$U_{\psi}[k] = \frac{\hat{U}_{\omega 2}[k] + \hat{U}_{\omega 1}[k]}{2} - (\hat{U}_{\omega 2}[k] - \hat{U}_{\omega 1}[k]), \quad (2.22)$$

де $U_{\psi}[k]$ – замінний сигнал ДК; $\hat{U}_{\omega 2}[k]$ – сигнал ДКШ₂ після інтегрування; $\hat{U}_{\omega 1}[k]$ – сигнал ДКШ₁ після інтегрування.

Якщо сигнал будь-якого з двох ДКШ має бути відновленим, структурна надмірність може бути застосована з метою замінити сигналами з інших ДКШ:

$$U_v[k] = \tilde{U}_{\omega}[k], \quad (2.23)$$

де $U_v[k]$ – відновлення сигналу ДКШ з відмовою; $\tilde{U}_{\omega}[k]$ – сигнал ДКШ без відмови.

На практиці з метою збільшення точності вимірюваних значень використовують формулу

$$U_v[k] = \frac{1}{2}(U'_{\psi}[k] + \tilde{U}_{\omega}[k]), \quad (2.24)$$

де $U_v[k]$ – відновлення сигналу ДКШ з відмовою; $\tilde{U}_{\omega}[k]$ – сигнал ДКШ без відмови; $U'_{\psi}[k]$ – сигнал ДК після виведення.

Усувний дрейф напруги. Такі відмови можуть бути параметричною, сигнальною або структурною компенсацією (структурною – тільки в разі ДКШ). Сигнальна і структурна компенсації нічим не відрізняються від тих, що використовуються у випадку відмови неусувного дрейфу напруги. Несправний датчик може бути компенсованим за допомогою обчислень

$$U_{\alpha}[k] = \tilde{U}_{\alpha}[k] - \Delta \bar{\varepsilon}, \quad (2.25)$$

де $U_{\alpha}[k]$ – відновлений сигнал несправного датчика; $\tilde{U}_{\alpha}[k]$ – сигнал несправного датчика; $\Delta \bar{\varepsilon}$ – середнє значення співвідношення сигналу відмови з сигналом нормального стану (див. (2.18)).

Обрив кабелю (позитивного, негативного або сигнального). Такого роду помилки можна скорегувати сигнально або структурно (у разі ДКШ – тільки структурно). Принцип відновлення сигналів за такими відмовами нічим не відрізняється від компенсації неусувного дрейфу напруги. Параметричне відновлення цих видів відмов не є можливим через те, що несправний датчик має постійну напругу на виході.

Переорієнтація датчика може бути компенсованою за допомогою будь-якого з трьох видів надлишковостей – параметричної, структурної або сигнальної (застосовується лише для ДКШ). Параметрична компенсація може бути застосована і описана за допомогою рівняння:

$$U_{\alpha}[k] = -\tilde{U}_{\alpha}[k], \quad (2.26)$$

де $U_{\alpha}[k]$ – відновлений сигнал несправного датчика; $\tilde{U}_{\alpha}[k]$ – сигнал несправного датчика.

Переборна зміна коефіцієнта передачі (з переорієнтацією або без неї). Для цих видів відмов відновлення сигналу може бути отримано параметричним методом, математична модель якого є такою:

$$U_{\alpha}[k] = \frac{\tilde{U}_{\alpha}[k]}{\bar{K}}, \quad (2.27)$$

де $U_{\alpha}[k]$ – відновлений сигнал несправного датчика; $\tilde{U}_{\alpha}[k]$ – сигнал несправного датчика; $\bar{K}$ – середнє значення зміни коефіцієнта (див. (2.14)).

Усувний дрейф напруги і переборна зміна коефіцієнта передачі (з переорієнтацією або без неї). В цьому випадку процедура відновлення може бути здійснена за допомогою будь-якого з трьох видів надлишковостей, але параметричний метод відрізняється від тих, що вже були викладені. Математична модель для відновлення цих видів відмов описується рівнянням

$$U_{\alpha}[k] = \frac{\tilde{U}_{\alpha}[k]}{\bar{K}} - \bar{U}_i, \quad (2.28)$$

де $U_{\alpha}[k]$ – відновлений сигнал несправного датчика; $\tilde{U}_{\alpha}[k]$ – сигнал несправного датчика; $\bar{U}_i$ – середнє значення сигналу несправного датчика $U_i[k]$, (див. (2.20)); $\bar{K}$ – середнє значення зміни коефіцієнта (див. (2.14)).

Контрольні запитання

1. З чого складається програмно-апаратний комплекс забезпечення відмовостійких алгоритмів БГД?
2. У чому полягають можливості програмно-апаратного комплексу забезпечення відмовостійких алгоритмів БГД?
3. Які види відмов можна досліджувати у БГД?
4. Що входить до основних задач діагностування БГД?
5. Які моделі визначення місця відмови слід засвоїти студентам в процесі вивчення відмовостійкості БГД?
6. Які моделі визначення класу відмови слід засвоїти студентам в процесі вивчення відмовостійкості БГД?
7. Які моделі визначення видів відмов слід засвоїти студентам в процесі вивчення відмовостійкості БГД?
8. Які існують надлишковості й для яких видів відмов БГД їх слід використовувати?

3. МОДЕЛІ Й МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО НАВЧАННЯ

3.1. Основні поняття систем інтелектуального навчання

Фактично існує безліч типів систем навчання. Найбільш часто використовуються такі системи, які потребують від студента введення остаточної відповіді на поставлене запитання або завдання, після чого зворотний зв'язок і підказка виводяться на основі цієї відповіді [4]. Наприклад, такі системи можуть призначати алгебричну задачу і чекати від студента введення числової відповіді після попереднього її розв'язання на папері. У тому випадку, якщо відповідь є правильною, система приймає його, в іншому випадку – підказує. Такий тип систем також називається комп'ютерним навчанням, автоматизованою підготовкою, або більш сучасний варіант – WEB-орієнтоване навчання. Інші системи навчання можуть ставити запитання перед студентом про введення послідовних дій, необхідних для вирішення поставленого завдання, після чого надходять зворотний зв'язок і підказки до виконання таких дій, а також прийняття остаточної відповіді.

Такі системи називаються системами інтелектуального комп'ютерного навчання (ІКН) і являють собою комп'ютерні програми для підтримки і поліпшення навчання і навчального процесу в цілому в сфері предметної області. Вони не використовуються для повної заміни навчальних занять, але мають допомогти студентам у процесі навчання у відповідній області. Одним з ключових елементів, які відрізняють системи ІКН від традиційних навчальних систем, є здатність сприймати і зберігати всі дії студента для підтримки його міркувань і навчання у вигляді так званої моделі студента. З одного боку, систему ІКН можна використовувати для того, щоб забезпечувати незалежну роботу студентів, що є важливим для поліпшення їх розуміння предметної області, а також оцінювання індивідуального просування кожного у вирішенні окремих завдань. З іншого боку, система ІКН покликана полегшити процес навчання не тільки студентам, але й викладачам як на етапі розроблення навчального курсу, так і на етапі викладання. Одним з основних питань, з якими стикаються розробники систем ІКН, є саме метод, на основі якого система призначає запитання або завдання, забезпечує зворотний зв'язок і підказки. Наприклад, завдання можуть бути розташовані послідовно або можуть призначатися відповідно до рівня виконання їх студентом.

Зворотний зв'язок і підказки можуть з'являтися відразу ж, як тільки студент вводить послідовні кроки, що наближають його до остаточної відповіді, або ж можуть бути подані пізніше, коли студент дасть остаточну відповідь. Зазвичай зворотний зв'язок і процес появи підказок залежать від вибраного рівня складності.

Американським вченим Куртом Ван-Леном було запропоновано стандартизувати опис поведень систем ІКН. Таке стандартизування ґрунтується на тому, що, незважаючи на численні відмінності в своїй внутрішній структурі, такі системи ІКН і принципи їх поведінки є схожими між собою, а підходи описані автором у роботі [13]. У своєму підході щодо стандартизації він використовує набір термінів, що охоплюють подібності поведінки і конструкції таких систем навчання. Терміни наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Термінологія систем ІКН

Термін	Короткий опис
Область завдань	Пропонована до вивчення інформація та відпрацювання навичок
Завдання	Питання або завдання, запропоновані до вирішення
Крок	Виконання завдання може складатися з одного або декількох кроків, які пропонуються до заповнення користувачем у графічному інтерфейсі
Компонент знань	Складова області завдань, принцип, основоположний факт, інше. Будь-який фрагмент специфічної області інформації або навичок, необхідний для використання при вирішенні задачі
Навчальний момент	Розумовий процес; застосування компонента знань протягом виконання завдання
Зовнішній цикл	Поведінка системи ІКН на рівні зовнішнього циклу в процесі контролю і вибору завдань
Внутрішній цикл	Поведінка системи ІКН на рівні внутрішнього циклу в процесі контролю і вибору кроків у завданні

Завдання і призначений для користувача інтерфейс навчальної програми, як правило, розроблені таким чином, що для виконання завдання потрібно один або кілька «кроків», де кожен крок являє собою інтерфейс користувача дії, який робиться студентом для виконання завдання при тому, що такий крок або дія мають безпосередньо сприяти цьому.

Під терміном «знання» розуміємо обсяг наявної для студентів інформації, яка визначає їх поведінку при вирішенні задачі. Саме знання може бути розкладено на складові, а термін «компонент знань» вживають щодо таких складових. Компонент знань може бути подано принципом, концептом, правилом, процедурою, фактом, асоціацією або будь-яким іншим фрагментом інформації для вирішення певної задачі. Незважаючи на приватне визначення поняття «знання», компоненти знань можуть бути некоректними, і тому бажано, щоб студент не застосовував такі компоненти при виконанні завдання.

Навчальний момент являє собою процес утворення або застосування компонента знань під час виконання завдання. Навчальний

момент є розумовим процесом, тоді як крок є фізичною дією. Сам процес навчального моменту відбувається в мисленні студента, що робить неможливими спостереження за ним, але кроки, виконувані в інтерфейсі, демонструють це сприйняття, що вже можна оглядати.

Більш того, якщо проаналізувати безпосередньо уроки у вигляді набору завдань, кожне з яких може бути вирішено за допомогою одного або декількох кроків, сам процес можна подати у вигляді двох циклів: зовнішньому – для вибору завдань і внутрішньому – для аналізу кроків. Основним завданням зовнішнього циклу є підбирання питань для навчання студента. Внутрішній цикл відповідає за два завдання – стимулювання студента зробити правильні кроки при вирішенні завдання і безпосередньо у процесі навчання.

Існує безліч шляхів розроблення внутрішнього циклу, оскільки підказки і зворотний зв'язок можуть бути як негайної, так і відкладеної за часом дії, а також спрямованої на конкретного студента або ж відхиленої зовсім. Проте основною характеристикою внутрішнього циклу є саме те, що він є пов'язаним з кроками, а не з завданнями.

Крок, навчальний момент або компонент знань можуть бути розцінені некоректними тільки в тому випадку, якщо навчальна система зможе щось «розуміти» і якимось чином відповісти студентові на задоволення його поточних навчальних цілей. Оскільки коректність є відносною щодо навчальних цілей, необхідно, щоб зворотний зв'язок не залежав від студента. Саме така педагогічна політика розробників і викладачів визначає поведінку навчальної системи і її роль в процесі навчання студента.

3.2. Зовнішній цикл – вибір наступного завдання для студента

Зовнішній цикл відповідає за вибір саме тих завдань, які далі будуть запропоновані студентові. Головними при цьому є основа для грамотного підбирання завдань і доступ до великого вибору таких завдань, для чого використовуються чотири основних поширених методи [13], які перелічимо за порядком складності, починаючи від простого:

- зовнішній цикл відображає меню і дозволяє студентові вибрати задачу. На цьому етапі студент вирішує, яку саме задачу йому виконувати далі. Цей спосіб є доцільним для використання студентами, оскільки вони можуть отримати певне «домашнє завдання» згідно з тими результатами успішності, які демонструє кожен з них;
- зовнішній цикл призначає завдання в заданій послідовності. Одною з переваг такого методу є те, що студент зобов'язаний завершити виконання попереднього завдання для того, щоб розпочати наступне. Це може бути достатнім показником того, що студенти засвоїли умови попереднього завдання і можуть виконувати нове;

- зовнішній цикл виконує педагогічну функцію «майстерності навчання» [12]. При такому підході повний набір завдань структуровано у вигляді послідовності одиниць або послідовності рівнів складності. Коли студент працює над блоком (або рівнем складності), навчальна система зберігає призначені завдання з цього блока, поки всі компоненти знань блока не будуть успішно засвоєні студентом. Тільки після цього система дозволить студентові продовжити роботу над наступним блоком. При використанні такого зовнішнього циклу деякі студенти зможуть закінчити навчальний план, виконавши меншу кількість завдань, ніж інші. Майстерність навчання потребує, щоб навчальна система мала певний спосіб оцінювання рівня засвоєння студентами компонентів знань, які викладені у вигляді блоків. Зазвичай таке оцінювання здійснюється на внутрішньому циклі, оскільки це полегшує студентові роботу над кожним певним завданням;

- серед цих основних конструкцій зовнішніх циклів найбільш складною є так звана педагогічна «макроадаптація» [17, 21]. При такому методі кожен раз, коли навчальна система призначає завдання, студент знає, які компоненти знань викладено в завданні. Таким чином, система постійно оцінює ступінь засвоєння студентом кожного з компонентів знань. Коли студент завершив виконання завдання, і система має приступити до вибору наступного, вона вибирає те, яке містить нові компоненти знань, і ті, що вже були засвоєні студентом.

Таким чином, зовнішній цикл має функціонувати між декількома завданнями і сесіями так, щоб інформація про успішність студента зберігалася на сервері або диску його комп'ютера. Вся ця інформація має назву «модель студента». Ця модель може також містити й іншу інформацію про студента, таку, наприклад, як облік успішності за стандартизованими тестами, історію виконаних завдань, число звернень до підказок і історію зворотного зв'язку, кількість допущених помилок або невірних відповідей, кількість спроб вирішення кожного конкретного завдання, розуміння компонента знань та інші дані, що відображають успішність студента. Крім того, розробник має передбачати певний набір завдань для вибору у зовнішньому циклі. Можна зазначити, що зовнішній цикл навчальної системи відповідає за підбирання завдань, пропонованих студентові для вирішення. Перед розробниками стоять дві основні проблеми: заповнення набору навчальних і дидактичних завдань і створення таких методів, за якими буде призначена послідовність вибору завдань.

Як вже було зазначено раніше, для вибору завдань використовуються чотири поширених підходи, найбільш перспективними з яких є «навчання вмінням» і «макроадаптація». Комбінація цих двох підходів дозволить ІКНП врахувати конкретні цілі навчання, з одного боку, і індивідуальні особливості студента – з іншого. Ефективність застосування цих підходів як в традиційному, так і електронному навчанні, показана на

прикладі багатьох існуючих систем [18]. Незважаючи на те, що суть і особливості використання розглянутих підходів описано в джерелах досить докладно, немає формальних моделей, які дозволять розробити алгоритм зовнішнього циклу автоматизованого навчання. Беручи за основу вибрану предметну область – діагностування технічних систем із застосуванням апаратно-програмного комплексу, стає можливим змодельовати цей аспект ІКНП для досить широкого спектра дисциплін технічного спрямування. Основною специфікою таких дисциплін є орієнтація на набуття певних умінь і навичок в роботі з обладнанням, нестандартним програмним забезпеченням, а також у вирішенні інженерних задач.

Для побудови формальної моделі вибору наступного завдання узагальнимо і розглянемо можливі варіанти і обмеження двох інших складових машинно-орієнтованого навчання: моделі задачі (предметної області) і моделі студента. Від них безпосередньо залежать вид і параметри моделі процесу навчання як у зовнішньому, так і внутрішньому циклі. Відправною точкою моделювання мають бути цілі, яких необхідно досягти, і найголовніше – ступінь досягнення яких можна адекватно оцінити. Якщо керуватися таксономією С. Блума [36], на яку посилаються в різних сферах педагогіки, в тому числі й машинно-орієнтованому навчанні, то цілі, які можуть бути при використанні досягнуті ІКНП, охоплюють перші три базових рівня – знання, розуміння, застосування (рис. 3.1) – і на більш високих рівнях припускають момент творчості і неоднозначності вирішення завдань, тому ступінь досягнення цих цілей не може бути визначена без експертного оцінювання педагога.

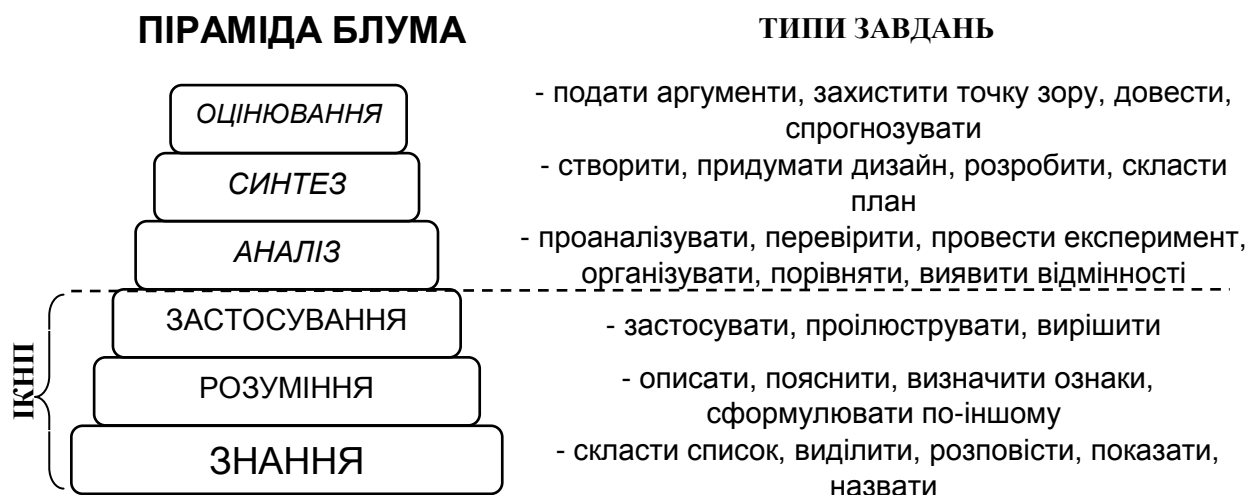


Рис. 3.1. Рівні навчальних знань

Орієнтуючись на перші три рівня навчальних цілей, знання і розуміння ІКНП можна оцінювати за допомогою питань вхідного і вихідного тестування. Як правило, в технічній сфері є досить невелика кількість

закритих питань з теоретичного матеріалу, на які слід відповісти, щоб отримати допуск до виконання практичної частини або одержати залік за виконання. Вміння застосовувати студентом теоретичні знання оцінюється в процесі реалізації практичних завдань, розв'язання обчислювальних задач, виконання окремих етапів лабораторних або курсових робіт і т.п. Перелічені об'єкти навчальної діяльності можна розглядати як множину вихідних задач, кожна з яких має свій рівень складності в рамках певного модуля. При цьому щодо макроадаптації є необхідним, щоб рівнів складності було не менше трьох, а виходячи зі стандартів на метадані навчальних об'єктів доцільно виділяти не більше п'яти (дуже легкий, легкий, середній, складний, дуже складний). Модулі слід формувати таким чином, щоб в кожному з них була, принаймні, одна задача кожного рівня складності, а для того, щоб була альтернатива вибору, їх має бути не менше двох. Крім того, в сукупності завдання одного модуля мають «охоплювати» всі компоненти знань, закладені в даний модуль. Ще одна важлива вимога: кожен компонент знань на кожному рівні складності має охоплюватися більше ніж одним завданням.

Формалізуючи сказане вище, модель предметної області навчання можна уявляти в дискретно тривимірному просторі, де задачі, крім її номера, також відповідають номер модуля і рівень складності, що відображається в суміжному двовимірному просторі компонентів знань, також пов'язаних з модулями. Тоді маємо таблично задане бінарне відношення

$$MT : \{T_{ijk}\} \rightarrow \{KW_{kl}\}, \quad (3.1)$$

де T – множина завдань; KW – множина компонентів знань; i – номер завдання; $j \in [1, 5]$ – рівень складності; k – порядковий номер модуля; l – номер компонента знань.

Відношення (3.1) не є однозначним, разом з тим можна сформулювати ряд обмежень:

$$\forall k, \forall j, \{T_{ijk}\} = 0, \|T_{ijk}\| \geq 2; \quad (3.2)$$

$$\forall k, \forall j, \forall l \{T_{ijk}\} = MT^{-1}(KW_{kl}) \neq 0, \|T_{ijk}\| \geq 2; \quad (3.3)$$

$$\forall k \cdot \bigcup MT(T_{ijk}) = \{KW_{kl}\}. \quad (3.4)$$

Параметри моделі предметної області можуть змінюватися, тому що для «живої» системи є природним додавання нових або зміна існуючих завдань, але в будь-якому випадку це відбувається до початку роботи ІКНП. Таким чином, модель задачі є статичною. Модель студента – навпаки, має бути динамічною, а її параметри можуть формуватися і змінюватися в процесі роботи. Крім ідентифікаторів даних, таких, як прізвище та ім'я, номер групи, логін і пароль в системі, модель має зберігати номери завдань, що надані студентові, кількість спроб вирішення

кожного завдання, їх успішність і витрачений час. Ключовою інформацією для зовнішнього циклу навчання відповідно до вибраного підходу є оцінювання ступеня оволодіння кожним компонентом знань, що формується у внутрішньому циклі. У цій роботі використано оцінювання інформації на основі баєсових мереж і діагностичних моделей, тому оцінка являє собою дійсне число від 0 до 1. У загальному випадку для організації зовнішнього циклу є необхідним будь-яке значення, що допускає операцію порівняння, тобто оцінка за п'яти-, десяти-, дванадцяти- або стобальною шкалою.

Формально наведене вище може бути відображено такими тернарними відношеннями:

$$MS1 : \{S_q\} \times \{T_{ijk}\} \rightarrow N; \quad (3.5)$$

$$MS2 : \{S_q\} \times \{KW_{kl}\} \rightarrow P, \quad (3.6)$$

де S – множина студентів; q – номер студента; $P \subset R$ – множина дійсних чисел $[0, 1]$, що являють собою оцінки ступеня володіння компонентами знань, N – множина натуральних чисел, що являють собою кількість спроб вирішення завдання.

Тоді апіорно встановлюємо нульову кількість спроб і 50-відсоткову ймовірність володіння компонентами знань, що відповідає повній відсутності інформації про знання студента з поточним номером q : $\forall_i, \forall_j, \forall_k MS1(S_q, T_{ijk}) = \{0\}$, $\forall_l, \forall_k MS2(S_q, KW_{kl}) = \{0.5\}$. Після цього встановлюємо перший модуль і середній рівень складності: $k = \min(k)$, $j = \lceil \max(j)/2 \rceil$. На кожному кроці циклу вибираємо завдання, в якому є компонент знань студента, оцінка якого S_q є найменшою:

$$NT = MT^{-1} \left(KW_{kl} \left| MS2(S_q, KW_{kl}) \rightarrow \min \right. \right). \quad (3.7)$$

Оскільки компонентів знань з мінімальним значенням може бути кілька (апіорно встановлено їх однаковими), більш того, один компонент знань може відповідати декільком завданням, то є ймовірною ситуація $\|NT\| > 1$, значить, треба шукати завдання з найменшою кількістю спроб вирішення:

$$NT' = NT \left(KW_{kl} \left| MS1(S_q, T_{ijk}) \rightarrow \min \right. \right). \quad (3.8)$$

Якщо $\|NT'\| > 1$, що є природним для перших кроків зовнішнього циклу, то користуємося прийомом імітаційного моделювання і вибираємо завдання довільно:

$$NT^* = \text{RAND}(NT). \quad (3.9)$$

Далі запускається механізм внутрішнього циклу, результатом якого буде зміна оцінок компонентів знань студента, а також інформація про успішність спроби вирішення завдань: $Sol(NT) \in \{0,1\}$, $NT \in \{NT, NT', NT^*\}$. На основі цих даних можна зменшити або збільшити рівень складності завдань:

$$j = \begin{cases} j+1, & \text{якщо } Sol(NT) = 1 \text{ і } j < \max(j); \\ j-1, & \text{якщо } Sol(NT) = 0 \text{ і } j > \min(j); \\ j & \text{— в інших випадках.} \end{cases} \quad (3.10)$$

Процедури, описані формулами (3.7) - (3.10), повторюються, поки не досягнуто мету оволодіння знаннями поточного модуля, після чого переходимо до наступного модуля $k = k + 1$ і знову повторюємо (3.7) - (3.10) і т.д., поки не одержуємо $k < \max(k)$. При $k = \max(k)$ і досягненні мети цикл навчання завершується, можна переходити до моніторингу результатів і / або формування оцінки залежно від режиму навчання.

Що стосується умови досягнення мети, то необхідно визначитися з функцією на множині оцінок компонентів знань поточного модуля і деяким граничним значенням pKW цієї функції. Як альтернативу функцій, зрозумілих будь-якому педагогові, пропонують такі:

$$\min[MS2(S_q, KW_{kl})] > pKW; \quad (3.11)$$

$$\text{AVG}[MS2(S_q, KW_{kl})] > pKW. \quad (3.12)$$

Більш складні функції використовувати недоцільно, оскільки вони потребують більше уваги з боку викладача на етапі введення даних, наприклад, розставлення пріоритетів, призначення ваг і т.п. Найбільш виправданим є встановлення за замовчуванням деякого порога $pKW = 0.85$, обумовленого педагогічною практикою вважати успішним завершення курсу з оцінками А і В (85 – 90 балів за стобальною шкалою). Далі він може бути скоректованим для деяких модулів, так само, як і вибрана одна з функцій: (3.11) – відповідає більш «жорсткому» контролю всіх компонентів знань, (3.12) – допускає розкид в освоєнні компонентів.

Проаналізувавши навіть перші кроки роботи запропонованого циклу, можна помітити, що неуспішна спроба вирішення завдання з мінімальним рівнем складності (якщо таке завдання з необхідним компонентом знань є тільки одним) може призвести до зациклювання. Така ситуація є можливою, наприклад, у модулі вхідного тестування, де завдання є запитаннями з теорії, на які студент має відповісти, перш ніж перейти до практичної частини. З використанням запропонованої моделі запитання буде видаватися студентові доти, доки він не дасть на нього правильної відповіді. Зробити це доведеться кілька разів (стільки ж, скільки було

неправильних спроб), поки оцінка даного компонента знань не перестане бути мінімальною. Відповідно в ІКНП слід вводити запитання більш ніж з двома відповідями, а у внутрішньому циклі передбачати перестановку відповідей, щоб уникнути «вгадування» і «пролистування». Для інших завдань, як буде зроблено в аналізованій предметній області, слід передбачити їх генерування або вибір із множини вихідних даних, що урізноманітнює пропоновані завдання, а після ряду безуспішних спроб цілком логічно вирішувати те ж завдання правильно ще кілька разів з різними числами. Таким чином, зациклювання – це не недолік моделі, а результат дотримання підходу до набуття умінь, що потребує досягнення необхідного рівня володіння матеріалом. Методичний підхід до вибору питань і завдань з урахуванням зазначених рекомендацій дозволить зробити цикл навчання максимально адаптивним і результативним.

3.3. Внутрішній цикл – вибір кроку в рамках виконання завдання студентом

Робота зовнішнього циклу пов'язана виключно із завданнями, робота ж внутрішнього циклу – з кроками вирішення певного завдання. Для наочного пояснення принципу поведінки внутрішнього циклу припустимо, що він пропонує студентам функції згідно з тим, які кроки вони роблять для виконання завдання і внесення остаточної відповіді. Згідно з роботою [13] набір функцій внутрішнього циклу є таким:

мінімальний зворотний зв'язок у відповідь на крок або остаточну відповідь. У більшості випадків, це означає просте повідомлення про правильність початого кроку або остаточної відповіді;

повідомлення про помилку у відповідь на невірний крок або остаточну відповідь. Ця інформація призначена для того, щоб допомогти студентові зрозуміти, чому відбулася певна помилка і уникнути її подальшої появи;

- підказки до наступного кроку;
- оцінювання знань;
- перевірка рішення.

Проте, незважаючи на зазначені вище пояснення сервісів, існує велика кількість інших нерозглянутих функцій. Хоча такі сервіси покликані допомагати навчанню студентів, вони не можуть використовуватися за призначенням. Факт зловживання сервісами, ймовірно, зустрічається у всіх сферах освітньої діяльності, в тому числі й під час аудиторних занять або індивідуальної підготовки студента з викладачем.

В основі таких навчальних систем лежать дві основні функції: генерація кроку і аналіз кроку. Генератор кроку починає функціонувати тільки після вибору правильного завдання для виконання у зовнішньому циклі, після чого генератор повертає крок згідно з тим визначенням завдання, яке необхідно виконати студентові на наступному етапі.

Генератор кроку може запропонувати студентам підказку до вирішення або до наступного кроку згідно з траєкторією навчання. Аналізатор кроку використовується й для інших сервісів. Аналізатор може запропонувати мінімальний зворотний зв'язок, наприклад; «правильно» або «неправильно» у відповідь на прийнятий крок.

У разі, якщо відповідь, або крок студента є «правильним» або «неправильним», аналізатор простежить його відповідність компоненту знань, який можливо використовувався студентом для виконання кроку. Це є ключовим моментом функціонування служби оцінювання. У разі, якщо крок студента є неправильним, аналізатор може повернути опис конкретної помилки, допущеної студентом, оновити необхідні компоненти знань, а також виконати діагностику, яка необхідна безпосередньо для повідомлень про помилку. Конструкції аналізатора і генератора кроку можуть значно вирізнятися в різних навчальних системах.

Мінімальний зворотний зв'язок, як правило, вказує, є крок правильним або неправильним, хоча інші категорії сервісів іноді також використовуються для цих цілей. В основному навчальні системи базуються на використанні двох категорій зворотного зв'язку – правильно або неправильно, але також є можливим використання й інших.

Мінімальний зворотний зв'язок має бути віднесено до однієї з мінімальних категорій (правильно, неправильно, неоптимально та ін.). У разі, якщо він не належить ні до одної з таких категорій, то отримує позначку «не розпізнано». В роботі [13] автор указує три способи усунення позначок «не розпізнано»:

- деякі навчальні системи можуть розпізнати будь-які правильні кроки, тому всі кроки, що мають позначку «не розпізнано» належать до «неправильних»;
- студент може іноді навести окреме правильне рішення, яке не внесено в модель навчальної системи, тоді кроки, що мають позначку «не розпізнано» будуть вважатися «правильними»;
- навчальні системи, які просто повідомляють, що крок, уведений студентом, є нерозпізнаним, то в такому випадку тип «не розпізнано» є категорією мінімального зворотного зв'язку.

Однією з головних проблем надання зворотного зв'язку є визначення безпосередньо моменту, в який слід його подати. При визначенні моменту надання зворотного зв'язку всі навчальні системи мають відмінності. Існують три основних принципи застосування зворотного зв'язку:

- **негайний зворотний зв'язок** здійснюється негайно після кожного введення студентом кроку при вирішенні задачі. Відмінності полягають у відображенні такого зворотного зв'язку;
- **відкладений зворотний зв'язок** надається після введення студентом остаточної відповіді при вирішенні задачі і може демонструвати, який саме крок призвів до помилки;

- **зворотний зв'язок за запитом** надається тільки в тому випадку, якщо студент подає запит на нього.

Крім трьох перелічених концептів зворотного зв'язку (негайного, відкладеного і за запитом) також є можливими інші, більш складні типи. Навчальна система може навіть вирішити питання про надання мінімального зворотного зв'язку студентові залежно від його успішності. У разі, якщо студент успішно опановує матеріал, зворотний зв'язок може бути уповільненим, а тоді, коли його успішність стає нижче, зворотний зв'язок знову може стати негайним. Такий принцип застосовується і в звичній сфері навчання і з точки зору педагогіки є корисним для надання допомоги в процесі навчання.

Одна частина будь-якої навчальної системи подана аналізатором кроку, який може повернути одну з категорій мінімального зворотного зв'язку: правильно, неправильно, неоптимально, не розпізнано і т.д. Надалі система може вирішувати, коли і що відображати студентові на основі фіксованих педагогічних концептів або адаптивно. Іноді трапляється, що студенти буквально «застряють» і їм треба визначитися, який наступний крок зробити. В процесі надання підказок до наступних кроків існують три важливих групи запитань:

- коли саме навчальна система має надати підказку до наступного кроку; чи має система очікувати відповідного запиту студента; чи має система давати небажані підказки, якщо вона визначає, що студент плутається;
- який крок має запропонувати система; наприклад, якщо існує кілька шляхів вирішення завдання і студент вибрав найскладніший з них, чи має система запропонувати вирішення спочатку;
- як саме система має надавати студентові підказки, максимально зберігаючи при цьому навчальну функцію, контролюючи процес і дозволяючи студентові самостійно знаходити правильне рішення?

Навчальній системі слід мати певні функції, щоб надати студентові мінімальний зворотний зв'язок і необхідні підказки. Без цих функцій студенти будуть продовжувати здійснювати помилки, так і не знаходячи правильного вирішення задачі, що не приносить необхідного педагогічного ефекту. Саме тому такий набір функцій має бути у будь-якій навчальній системі. Кожну підказку слід надати саме в той момент, коли студент дійсно має потребу в ній. З одного боку, якщо існує ймовірність того, що студент є спроможним ввести правильний крок для вирішення завдання, системі не слід підказувати навіть тоді, коли студент запитує її. З іншого боку, якщо студент даремно витрачає час і свідомо неправильно вирішує завдання або ж повторно робить помилку і намагається вгадати відповідь, в такому випадку система має зреагувати і підказати.

У багатьох навчальних системах використовується набагато простіший концепт – вони підказують тільки в тому випадку, якщо студент

робить однозначний запит, натискаючи відповідну кнопку. Однак наявність такої кнопки може становити певну проблему, а саме:

- **зловживання підказками.** Деякі студенти дають запит на підказку навіть тоді, коли вона їм не потрібна. У деяких випадках студенти запитують підказку при виконанні кожного нового кроку;

- **відмова від використання підказок.** Деякі студенти повністю відмовляються від використання підказок навіть тоді, коли дійсно мають потребу в них. Вони можуть довго здійснювати неправильні кроки, можуть вгадувати замість того, щоб натиснути кнопку підказки.

Для того, щоб перешкодити зловживанню підказками, деякі системи ведуть їх облік і віднімають бали при кожному зверненні. З метою уникнути повної відмови від підказок деякі системи пропонують допомогу, коли студент вводить три неправильних кроки поспіль або протягом тривалого часу, що відведено на вирішення завдання.

Після того, як система вирішує надати допомогу, їй необхідно вибрати підказку, що відповідає її концепту, наприклад, щодо послідовності. Перші підказки мають містити мало інформації, вони лише спрямовують студента, але також і змушують його думати самостійно. Згодом підказки можуть стати більш комплексними.

Якщо необхідний крок потребує наявності одного або двох компонентів знання, то стандартна послідовність такої підказки має спочатку вказати на існування помилки, потім надати підказку, після чого система пропонує рішення. Функція вказує на наявність помилки і покликана показати студентові, що йому бракує певного компонента знання. Навчальні підказки коротко описують необхідний компонент знання і показують його застосування. Етап пропозиції рішення безпосередньо приводить студента до правильної відповіді.

Основними проблемними питаннями сервісу підказок є момент появи підказки, визначення кроку, на якому вона потрібна і вибір цього кроку. Рішення про те, коли саме студентові надати підказку, визначається концептом, як, наприклад, подання підказки відразу ж за запитом. Рішення про те, який саме крок потребує підказки, є складним і містить пошук правильного кроку і визначення серед можливої безлічі такого, який не буде занадто складним. Це важно і з точки зору педагогів, і з точки зору студентів.

Підказки зазвичай подаються в певній послідовності, починаючи із самого слабкого натяку і закінчуючи безпосереднім рішенням. Незважаючи на те, що підказки можуть бути серйозною проблемою для розробників через складність обчислень порівняно з мінімально зворотним зв'язком, така функція є значно більш педагогічно корисною. Підказки можна пропонувати в той момент, коли студенти дійсно відчують труднощі, вони можуть стати відмінним стимулом для вивчення матеріалу. Таким чином, функція надання підказок і забезпечення мінімального зворотного зв'язку може значно підвищити здатність до навчання.

У такому випадку необхідно відзначити важливість забезпечення потужного зворотного зв'язку. Навчальна система має безпомилково вміти визначати не тільки наявність неправильного кроку, а й те, що до нього призвело. Це ґрунтується на новій функції, яку навчальна система може запропонувати студентам. Сервіс аналізує неправильний крок з метою визначення некоректного навчального моменту або моментів, що ведуть до нього, після чого надає інструкції, спрямовані на запобігання виникненню таких ситуацій надалі. Цей процес аналізу здійснюється в аналізаторі кроку в ІНС для того, щоб надати студентові адекватний зворотний зв'язок.

Основною метою такого аналізу є повідомлення про помилку, що дозволяє студентам коригувати знання таким чином, щоб уникнути повторення такої помилки в подальшому. Цей сервіс є аналогічним тому, коли студенти не працюють з викладачем, а виконують завдання самостійно, перевіряючи себе і виявляючи помилки. Спочатку вони мають визначити, що введений крок є неправильним, потім знайти помилку в своїх міркуваннях і після з'ясувати, який саме навчальний момент або компонент знань було упущено. Системи не можуть замінити процес самостійної перевірки своїх знань студентами, оскільки тільки студент може оцінити власні знання, але це має дуже велике значення завдяки добре розробленій системі повідомлень про помилку.

Багато навчальних систем, як уже обговорювалося раніше, мають у своєму розпорядженні зворотний зв'язок у вигляді послідовних підказок, що може як приводити, так і не приводити до самостійного виявлення помилок. Коли студент вводить неправильний крок, система відкриває послідовність, забезпечуючи мінімальний зворотний зв'язок. Приблизно так само вона може повідомляти студента про помилку, але не надавати йому при цьому додаткової допомоги в її виявленні або виправленні. Зазвичай кілька підказок приводять до виявлення такої неточності. У певний момент підказки не посилюються на неправильний крок, навчальний момент або компонент знань, а вказують саме правильний крок, навчальний момент або компонент знань. Перші кілька підказок спрямовані саме на неправильність кроку, тоді як останні підказують правильний крок, який необхідно ввести.

Як тільки система вказала на помилку в кроці і готова відобразити послідовність підказок, їх подання може бути як корисним, так і ні. Хоча таке рішення може бути прийнято динамічно, на основі послідовного введення одної за одною помилок, більшість навчальних систем використовують саме фіксовану політику концепту.

Внутрішній цикл містить три типи сервісу: забезпечення мінімального зворотного зв'язку, надання підказок до виконання наступного кроку і безпосередню відповідь на помилку. Однак кожен з них потребує наявності різних можливостей навчальної системи. Система може тільки розрізняти правильні й неправильні кроки, надавати мінімальний

зворотний зв'язок, але може не надавати ніяких підказок. Здатність надавати підказки до наступного кроку потребує певних знань щодо критеріїв вибору таких кроків і їх педагогічної обґрунтованості відповідно до типів помилок. Так, наприклад, в системі TITUS мінімальний зворотний зв'язок забезпечується згідно з поставленим завданням і відповідями студента з урахуванням фіксованої політики впровадження таких сервісів.

3.4. Методи аналізу студентських рішень

Внутрішній цикл призначено оцінювати знання студентів та інші їх характеристики. Сервіс оцінювання не залежить від наведених вище трьох типів, хоча його реалізація тісно пов'язана з ними. Оцінювання широко використовується для аналізу успішності студента.

Навчальна система повинна мати сервіс оцінювання для того, щоб відслідковувати процес прийняття рішень. Наприклад, коли зовнішній цикл використовує майстерність навчання, система має визначати, коли компетентність студента перевищує поріг майстерності, внаслідок чого студента можна підводити до наступного блока навчальних програм або рівня складності. Основним фактором є ступінь деталізації оцінювання, що належить до рівня об'єднання даних в області завдання. Застосування дрібномодульних оцінювань, наприклад, забезпечує ймовірність оволодіння кожним компонентом знань окремо. Крупномодульне оцінювання являє собою єдине число, яке вказує на рівень успішності студента.

Оцінювання також є засобом підтримки прийняття рішень – чим більш значущим є рішення, тим більше крупномодульних оцінювань потрібно. У разі, якщо прийняття рішення триває цілий семестр, тобто, наприклад, рішення про те, чи потребує студент повторення обов'язкового курсу, то і оцінювання має охоплювати цілий семестр і приводити до однозначної відповіді – «так» або «ні», то кожному студентові присвоюється певна кількість одиниць. Однак, якщо рішення впливає тільки на виявлення необхідності системи надавати підказки, тоді таке оцінювання належить до дрібномодульних. Комплексність такого підходу полягає у визначенні розміру рішення. Якщо воно є незначним і впливає тільки на невелику кількість навчального часу, то тільки невелика кількість знань може бути доступною протягом цього часу. Відповідне рішення може надати допомогу в оцінюванні загальної успішності студента або знань певного предмета. Це і є наближеними принципами.

Як приклад, розглянемо макроадаптивний зовнішній цикл. Навчальна система намагається призначити завдання, яке містить кілька неопрацьованих компонентів знань. Для цього вона має провести дрібномодульне оцінювання, що забезпечить можливість освоєння кожного з відповідних компонентів знань.

Крупномодульне оцінювання. Його проводять для виявлення одиниці звітної успішності студента за поточним блоком і розраховують за такими параметрами:

обсягом прогресу, наприклад, кількістю вирішених завдань або кількістю правильних кроків;

обсягом наданої допомоги, наприклад, кількістю послідовних підказок і процентного співвідношення повністю завершених послідовностей;

певним рівнем успішності, наприклад, частотою помилок на початковому етапі; часом, витраченим на введення правильного кроку, або кількістю спроб, що передують введенню правильної відповіді.

Вихідні параметри необхідно об'єднати в загальне оцінювання. Викладачів слід повністю залучити до розроблення крупномодульного оцінювання. Вони мають визначити вихідні параметри, як, наприклад, ті, що перелічені вище. Якщо викладачі не впевнені в доцільності такого оцінювання, альтернативою йому можуть бути дрібномодульні оцінювання. Так, наприклад, якщо дрібномодульне оцінювання забезпечує ймовірність оволодіння кожним компонентом знань в області завдань, то ймовірність правильної відповіді при можливості множинного вибору приблизно являє собою ймовірність оволодіння компонентами знань, необхідних для відповіді на тестове завдання:

$$P(\text{правильно}) = P(K_1) \cdot P(K_2) \cdot P(K_3) \cdot \dots \cdot P(K_n). \quad (3.13)$$

Дрібномодульне оцінювання: визначення навчального моменту.

Нагадаємо, що вже визначено кроки, які будуть відображати призначені для користувача події. Припущено, що кожен крок є продуктом одного або декількох навчальних подій і що навчальний момент є розумовою діяльністю, основою на компоненті знань. Навчальні моменти, як і компоненти знань, неможливо прямо простежити, але кроки, що їх відображають, можна спостерігати. Тому необхідно оцінити індивідуальний рівень володіння компонентами знань, ґрунтуючись на введенні кроків.

«Майстерність» являє собою ймовірність того, що певний компонент знань буде застосовано саме в той момент, коли в ньому буде потреба. Якщо рівень засвоєння матеріалу студентом став незмінним, замість будь-яких його коливань у зв'язку з вивченням або забуванням, то майстерність може бути оцінена з розрахунку кількості застосувань компонента знань і поділення на кількість випадків, коли він використовувався:

$$P(\text{майстерність}) \approx \frac{N(\text{застосовано})}{N(\text{може бути застосовано})}. \quad (3.14)$$

У такому випадку необхідно приділити увагу таким трьом запитанням:

- як виявити застосування компонента знань;
- як знайти кількість випадків, коли такий компонент знань має бути застосованим;
- як визначити рівень вивчення або забування матеріалу ?

Існує безліч методів для аналізу кроків з метою визначення застосовуваних компонентів знань. Припустимо, що один з чорних ящиків, аналізатор кроку, відповідає за це. Таким чином, в кожному правильно введеному кроці студент буде повертатися до набору компонентів знань, які були їм використані для введення відповіді.

Іноді така інтерпретація кроку може бути неоднозначною, тобто один крок може відповідати одному з безлічі наборів навчальних моментів. У розглянутій ІКНП генератор кроку створює завдання, які мають конкретні відповіді.

Коли існує ймовірність кількох варіантів вирішення завдання, до яких студент приходить після певних висновків, і вони враховують різні навчальні моменти, і всі вони є правильними, тоді кількість врахованих компонентів знань збільшується. Такий вид неоднозначності інтерпретації отримав назву «призначення кредиту» завданню. Баєсові мережі та інші технології виявлення невизначеності в області штучного інтелекту використовувалися для призначення кредиту та визначення проблем.

3.5. Баєсові мережі для оцінювання компонентів знань

У цьому розділі описано певний тип оцінювання, що широко використовується в сфері ІКН. Методика оцінювання основана на математично обґрунтованому апараті, так званих баєсових мережах (БМ).

Саме поняття «майстерність» є досить тонким, тобто компонент знання засвоєно настільки добре, що навчальній системі і ІКН не потрібно більше часу для його викладення. Однак таке формулювання належить до концепту навчальної політики (використовується як твердження майстерності) більше, ніж для визначення або укладення майстерності. Як доказ можна навести такі характеристики майстерності:

- компонент знання завжди застосовується саме в тих ситуаціях, коли він має бути використаним;
- компонент знання ніколи не застосовується в ситуаціях, в яких він не має бути використаним;
- коли компонент знання застосовується, завдання виконується швидко і без посилання на зовнішні джерела компонентів знань (наприклад, підручник, товариш та ін.);

- студент може пояснити значення компонента знань в загальних рисах, а також може пояснити його використання (або невикористання) в окремих випадках.

Навіть у разі, коли система ІКН не має достатньої інформації для оцінювання цих характеристик, вона може провести відповідний аналіз за тими даними, які вона має. Таким чином, система ІКН може розрахувати тільки ймовірність майстерності згідно з очевидними для неї даними. Чи можна стверджувати, що студент освоїв цей компонент знань?

Починаючи з цього моменту, стикаємося з проблемою оцінювання. З огляду на те, що набір компонентів знань з пріоритетною ймовірністю майстерності і історією кроків і спроб для кожного з них вводиться студентом при визначенні послідовності завдань, можна розраховувати апостеріорну ймовірність майстерності, тобто ймовірність майстерності для кожного компонента знань після виконання всіх завдань.

У такому випадку слід сформулювати проблему оцінювання як створення і обчислення баєсової мережі. При цьому виділяють кілька методів, найбільш поширеним з яких є відстеження знань для оцінювання за допомогою динамічної БМ.

Таким чином, проблема оцінювання полягає в оновленні набору ймовірностей майстерності, оснований на процесі вирішення студентом завдань, що видно з історії спроб і виконаних кроків. Припустимо, наприклад, що задача є настільки простою, що передбачено її вирішення в два кроки. Якщо студент успішно виконав перший крок з першої спроби, але був змушений звернутися за підказкою на другому кроці, певна ймовірність майстерності зростає (для компонентів знань, що мають відношення тільки до успішно виконаного кроку) і певна ймовірність майстерності знизиться (для тих компонентів, які належать до невдало виконаних кроків).

Баєсова мережа побудована з вузлів і спрямованих зв'язків, де вузли являють собою випадкові величини, а посилання – умовні залежності між ними.

Припустимо, що вузли відображають майстерність компонентів знань, а кожен вузол має два значення: засвоєно і не засвоєно. Вузол, що відображає майстерність компонента знань, може змінюватися протягом часу, тому слід використовувати два індекси (ij) для позначення певної майстерності: $P(K_{ij})$ – ймовірність оволодіння компонентом знань одразу ж після кроку j , K_{i0} – апріорна ймовірність майстерності компонента знань до виконання будь-яких кроків.

Якщо існує N компонентів знань і рішення студента містить M кроків, тоді кількість необхідних вузлів можна розраховувати так:

$$N_{\text{вузл}} = N(M + 1). \quad (3.15)$$

Баєсова мережа – це орієнтований граф, в якому кожен вузол має кількісну інформацію ймовірності [34]. Наведемо більш детальну специфікацію вузлів:

- кожен вузол відповідає випадковій змінній, яка може бути дискретною або безперервною;
- набір спрямованих посилок і дуг з'єднує пари вузлів. Якщо дуга спрямована від вузла X до вузла Y , то вузол X називається батьківським вузлом. Це – орієнтований ациклічний граф;
- ймовірність значень кожної змінної X_i залежно від значень батьківських вузлів становить $P(X_i | \text{Parents}(X_i))$, $i = 1, \dots, n$.

Повне подання спільного розподілу отримано за допомогою рівняння елементів умовних ймовірнісних таблиць (УІТ) в БМ і наведено у формулі

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{pa}(X_i)), \quad (3.16)$$

де X_i – вузли мережі; $\text{pa}(X_i)$ – батьківські вузли для кожної X_i ; $i = 1, \dots, n$.

Необхідно також мати випадкову величину для оцінювання кожного кроку з метою розуміння того, як студент виконав цей крок. Таким чином, якщо існує M кроків у вирішенні завдання студентом, то слід подати M вузлів. Не можна реально уявити всі можливі набори кроків і спроб, їх існує безліч.

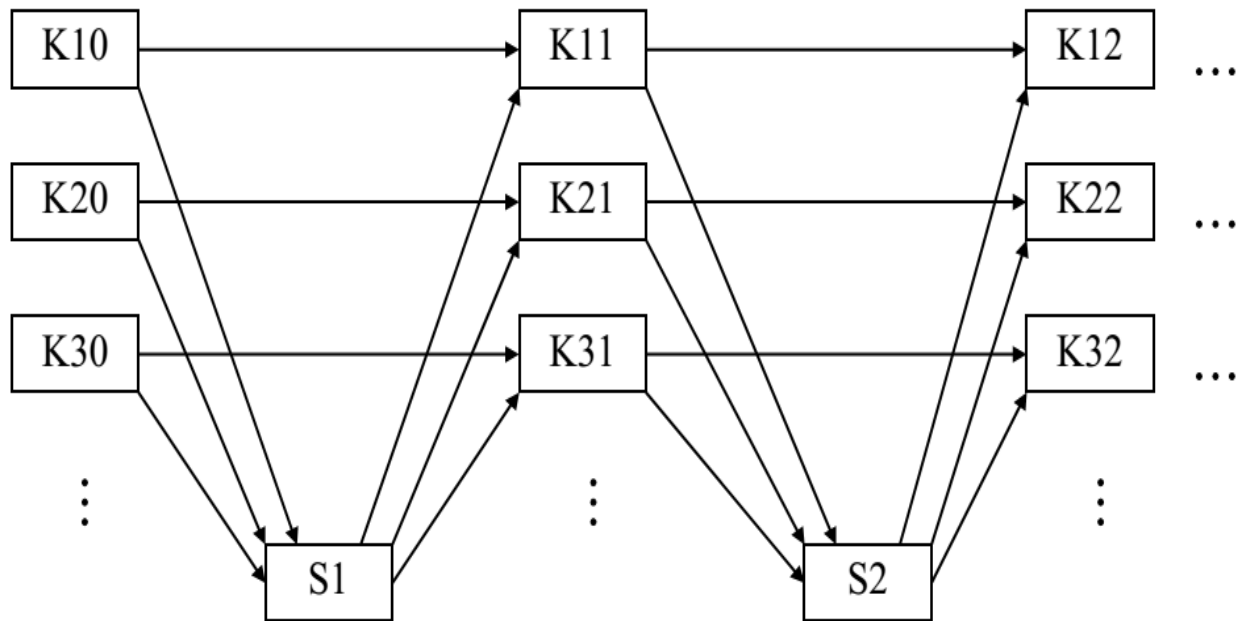
Так, звичайна практика полягає у визначенні кількох категорій кроків і спроб: а) введення правильного кроку з першої спроби; б) введення правильного кроку після надання підказки; в) зазначення інших кроків і спроб. Згідно з такою класифікацією кожен вузол кроку буде мати три значення.

Інше популярне подання двійкової класифікації таке: а) введення правильного кроку з першої спроби; б) введення всіх інших кроків і спроб.

Далі необхідно вивести припущення умовної залежності. Це створить зв'язок між вузлами баєсової мережі. Топологія мережі (рис. 3.2) ілюструє два досить правдоподібних припущення:

набір кроків і спроб залежать тільки від стану знань студента до введення кроку. Таким чином, посилення «у вузол» кроку (наприклад, S_2) виходять тільки від підмножини вузлів знань, саме тих, які відображають майстерність компонентів знань перед введенням кроку (наприклад, K_{11} , K_{21} , K_{31} , ...) для S_2 ;

знання студента відразу після введення кроку визначаються його знаннями безпосередньо перед його введенням і тим, що відбувалося на цьому етапі, наприклад, отриманням підказки до кроку.



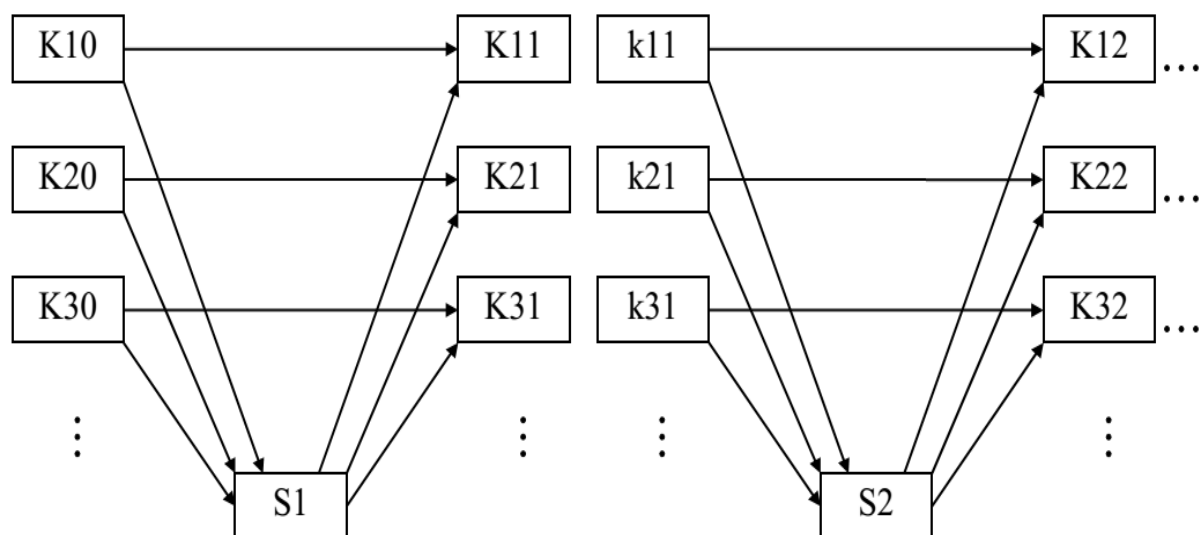
• Рис. 3.2. Загальний підхід до оцінювання за допомогою БМ

Звичайним способом оновити БМ є фіксування значення вузлів, що є можливим до відстеження, оновлення мережі і зчитування апостеріорних ймовірностей з певних вузлів. У цьому випадку спостерігаються історія спроб і кроків, таким чином можна фіксувати кожне із значень вузлів M кроків (наприклад, для $S1$ фіксуємо значення «Правильне введення з першої спроби»; для $S2$ – значення «Використання підказки» і т.д.). Мережа оновлюється і можна зробити зчитування апостеріорної ймовірності майстерності з кінцевих вузлів, зокрема, $K1M$, $K2M$, $K3M$ та ін.

Однак ця мережа може бути настільки великою, що поновлення обчислень є неможливим. Тому необхідно використати динамічну баєсову мережу. Суть полягає в поділі мережі на відрізки, як показано на рис. 3.3. Часовий відрізок містить вузол кроку і компонент знань до введення такого кроку.

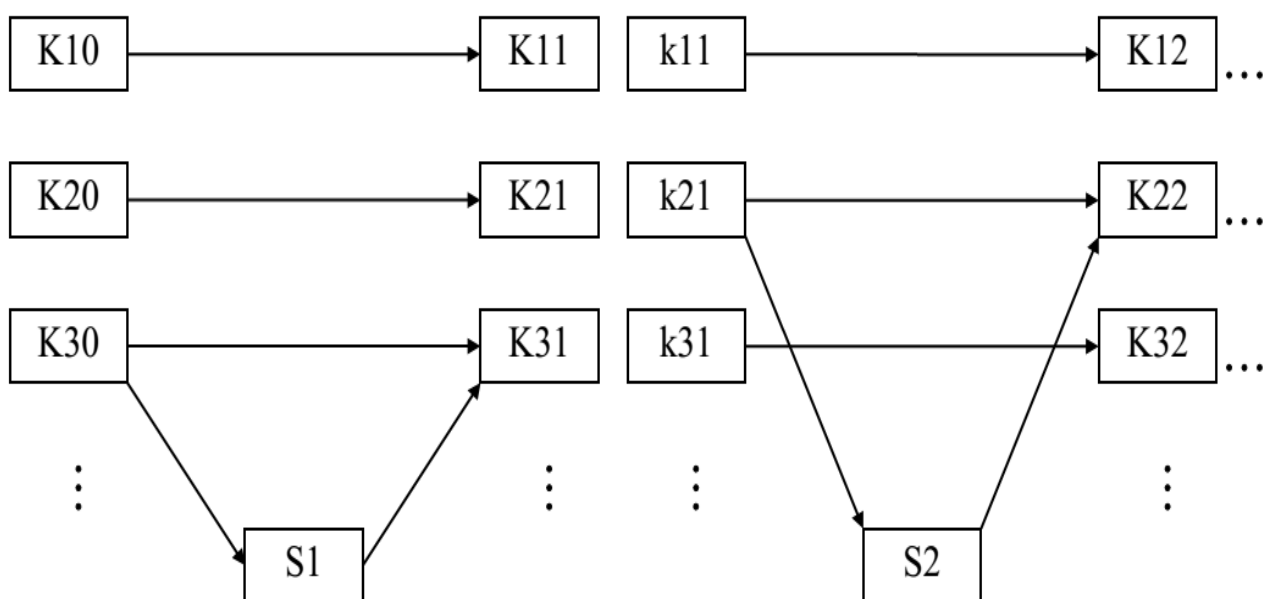
Відрізки оновлюються в хронологічному порядку. Після поновлення відрізка апостеріорні ймовірності компонентів знань після введення кроку (що відображено тільки маргінальними можливостями цих випадкових величин) копіюються в наступний часовий відрізок і стають вузлами ймовірностей компонентів знань на етапі до введення кроку.

На рис. 3.3 зображено апостеріорні ймовірності $K11$, $K21$, $K31$, ..., що переходять в апіорні ймовірності $k11$, $k21$, $k31$, ... Цей метод свідчить про те, що тільки відносно невеликі мережі можуть бути оновленими. Деяка неточність пов'язана з втратою імовірнісних залежностей між вузлами. Динамічні баєсові мережі застосовують при виконанні багатьох завдань, а їх функціонування відбувається на достатньому рівні, незважаючи на цю неточність [4,13].



- Рис. 3.3. Два відрізки загальної динамічної БМ для оцінювання знань

Відстеження знань – це поширений метод оцінювання, окремий випадок застосування динамічної мережі [34]. Це дещо спрощує припущення, що ведуть до мережі, наприклад, як показано на рис. 3.4.



- Рис. 3.4. Відстеження знань: два відрізки динамічної БМ

По-перше, відстеження знань передбачає, що кожен крок залежить від застосування тільки одного компонента знань. Отже, набір компонентів знань, що належать до такого кроку (як визначено вище), являє собою постійну одноелементну множину. Така мережа подана так: кожен вузол кроку має тільки одне посилення, що веде до нього, і посилення з єдиного вузла компонента знань, які мають бути застосовані при виконанні такого кроку (див. рис. 3.4). Крок 1 залежить тільки від компонента знань 3, а крок 2 – тільки від компонента знань 2.

По-друге, передбачається, що те, що відбувається під час виконання кроку, впливає на оволодіння тільки одним відповідним компонентом знань. Таким чином, існує тільки одне посилення, що виходить тільки з одного вузла і веде до відповідного компоненту знань в певному часовому проміжку відразу після введення кроку.

Кожен вузол в баєсовій мережі має умовну таблицю ймовірності, в якій наведено значення цього вузла залежно від значень батьківських вузлів. Коли посилення надходить, то вузол на іншому кінці мережі називається «батьківський вузол». При відстеженні знань умовні ймовірнісні таблиці є особливо простими. Як приклад, умовну ймовірнісну таблицю (УІТ), що містить значення вузлів кроків, наведено в табл. 3.2. Процес відстеження знань було оснований на використанні двійкової категоризації історій кроків і спроб: або студент ввів в крок «вірно» з першої спроби, або ні. Так, рядок Р (правильно) відображає ймовірність правильної відповіді при введенні її з першої спроби, а рядок Р (інше) – ймовірність будь-якого іншого виду кроку або спроби. У стовпцях наведено значення батьківського вузла, який і є вузлом компонента знання. У стовпці «Так» значення 0.92 означає, що в разі засвоєння компонента знання існує висока ймовірність того, що крок буде мати правильну відповідь, але є невелика ймовірність (0.08, так званий «параметр ковзання») того, що студент відповість неправильно, хоча компонент знання і буде їм засвоєно. У стовпці «Ні» значення 0.10 («параметр вгадування») відображає невелику ймовірність введення правильного кроку з першої спроби, навіть у тому випадку, якщо компонент знання не був засвоєним, і високу ймовірність (0.90) того, що історія кроків і спроб буде містити помилки, підказки та ін.

Таблиця 3.2

УІТ вузла кроку відстеження знань

Засвоєно	Так	Ні
Р(правильно)	0.92	0.10
Р(інше)	0.08	0.09

Деякі компоненти знань не належать до попередньої стадії, тому вони мають тільки одне посилення, що й веде до них (див. рис. 3.4). Відстеження знань передбачає, що ймовірність засвоєння такого компонента знань не залежить від кроків і спроб, що вводяться студентом. Таким чином, усі вузли компонентів знань пов'язані тільки з одним батьківським вузлом і мають у своєму розпорядженні УІТ (табл. 3.3).

Інші компоненти знань мають два посилення, що ведуть до них від попередніх кроків, а також від більш раннього вузла компонентів знань. Це означає, що їх нова ймовірність засвоєння залежить як від послідовності кроків і спроб, так і від попередньої ймовірності майстерності. Такі типи вузлів мають УІТ (табл. 3.4).

Таблиця 3.3

УІТ компонента знань з одним батьківським вузлом

Засвоєно	Так	Ні
P(правильно)	1.00	0
P(інше)	0	1.00

Таблиця 3.4

УІТ компонента знань з двома батьківськими вузлами

Засвоєно	Так		Ні	
Відповідь на крок	Вірно	Інше	Вірно	Інше
P(вірно)	1.00	1.00	0.56	0.56
P(інше)	0	0	0.64	0.64

З одного боку, дані свідчать про те, що, якщо навіть компонент знання було освоєно, то існує ймовірність (1.0), що компонент все ще освоюється. З іншого боку, якщо компонент знання ще не засвоєно, тобто є невелика ймовірність (0.56), що він буде засвоєним незалежно від того, що сталося під час кроку, який називається «параметром придбання». Таким чином, для опанування кожного компонента знань слід розпоряджатися чотирма даними: параметром припущення, параметром ковзання, параметром придбання і апіорною ймовірністю.

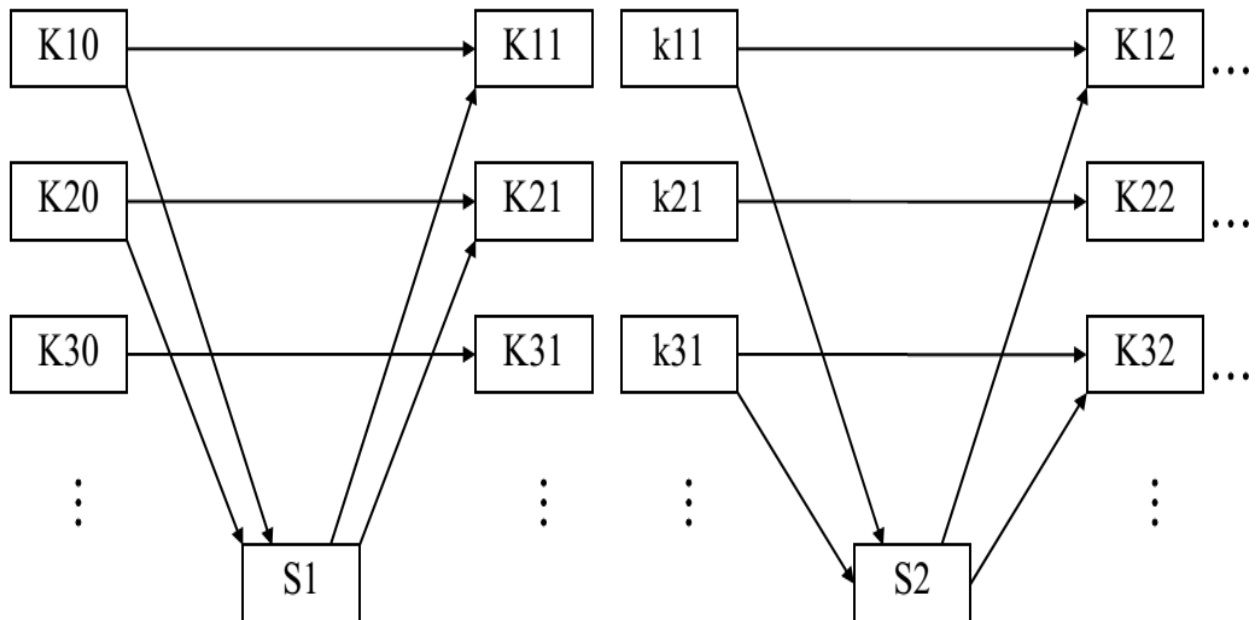
Процес відстеження знань не враховує інформацію під час категоризації історій кроків і спроб, розділяючи їх тільки на правильні й неправильні. Можна дати таке пояснення: можливість здійснення помилки студентом і її виправлення після надання невеликої підказки має більш високу ймовірність засвоєння матеріалу, ніж у разі, якщо він робить помилки після кожної підказки і завершує виконання завдання після остаточної підказки з відповіддю.

Можна також припустити, що те, що відбувається під час кроку, може частково визначити, чи стає неосвоєний компонент знань засвоєним. Наприклад, у разі, якщо студент очікує отримання фінальної підказки з відповіддю, не прочитав проміжні підказки, ймовірність засвоєння певного компонента знань виявиться низькою, що, зокрема, має назву «зловживання підказками». З метою уникнення такого зловживання допомогою є кнопка виклику підказки, не передбачена в системі TITUS.

Уразливість системи відстеження знань є припущенням або формалізмом, що призводить до спрощеного подання причинної залежності «крок → майстерність». Існує також інша думка, що процес відстеження знань має тільки один відповідний компонент знань, в той час, як сам концепт передбачає наявність кількох навчальних систем, які зазвичай потребують від студентів застосування більше одного компонента знань для вирішення задач. Це легко простежити шляхом розширення мережі. На рис. 3.5 показано, що компоненти знань 1 і 2

належать кроку 1, у той час, як компоненти знань 1 і 3 – кроку 2.

Навіть з урахуванням припущення, що кожен крок має більше одного відповідного компонента знань, такий підхід є рідкістю. Наприклад, крок 1 має два відповідних компоненти знань (рис. 3.5). Припустимо студент надасть системі свою відповідь і його відповідь буде правильною тільки частково.



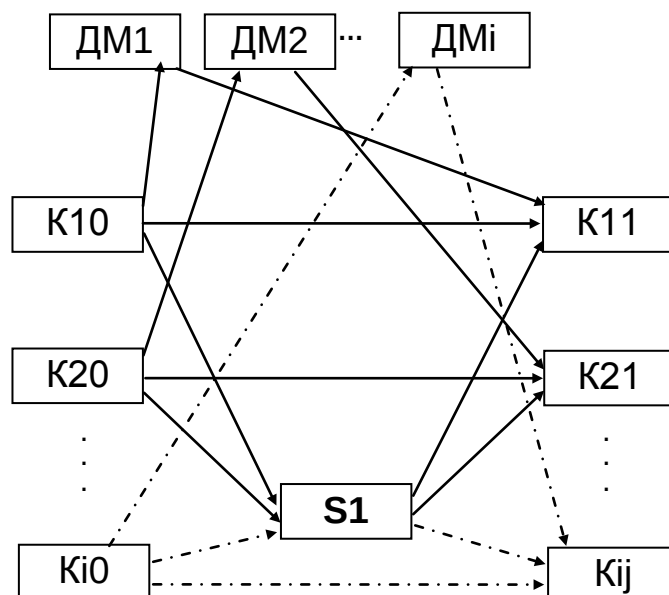
- Рис. 3.5. Крок, який може мати більше одного компонента знань

Як в такому випадку має реагувати система? Відповідь не є повністю правильною, але і неправильною теж не є. Відповідь студента показує, що компонент знань K10 не є засвоєним, тоді як дані щодо K20 підтверджують зворотне. За такого методу після кроку 1 значення $P(\text{правильно})$ має зменшуватися, але ймовірність майстерності для K10 і K20 буде зменшуватися після історії кроків і спроб, що не є коректним через те, що студент показав більш високу ймовірність засвоєння для K20, а це, в свою чергу, призводить до неправильних припущень стосовно прийняття рішень теоретичної системи.

Для вирішення питання достатності запропоновано розширену БМ [35]. Деякі студенти можуть засвоїти деякі компоненти знань, але інші не можуть це зробити протягом певного кроку з декількома відповідними компонентами знань. Для цього з метою виявлення таких випадків можуть знадобитися певні функції. А. Г. Чухрай додає вузли, які визначають такі ситуації більш зрозуміло (рис. 3.6).

Додані вузли, які названі діагностичною моделлю (ДМ), служать для контролю і впливу на ймовірності кожного відповідного компонента знань для кожного кроку.

Вузли ДМ, що наведені в УІТ (табл. 3.5), мають двійкову класифікацію: або студент показує володіння певним компонентом знань, або ні, вузол буде активовано або не активовано відповідно.



• Рис. 3.6. Індивідуальний діагностичний підхід

Таблиця 3.5

Умовна ймовірнісна таблиця для вузла ДМ

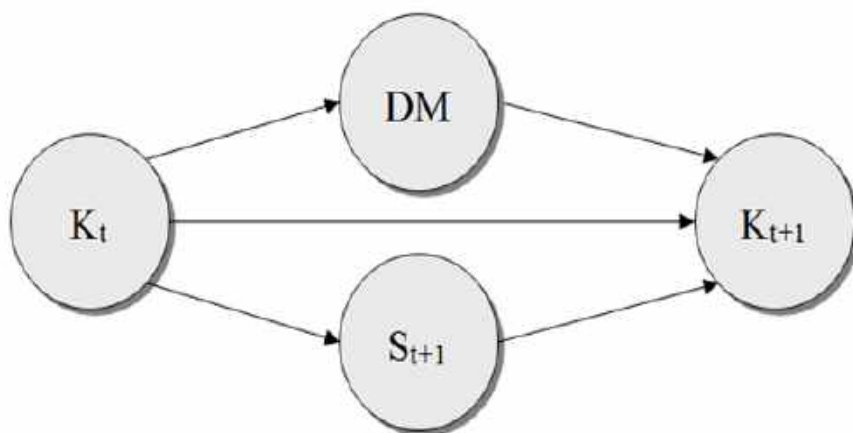
ДМ / Компонент знань	Засвоєно	Не засвоєно
Активовано	0.1	0.8
Не активовано	0.9	0.2

Таким чином, активний рядок відображає можливість низької ймовірності майстерності для відповідного компонента знань, а неактивний рядок – високу ймовірність майстерності. Стовпці належать до значень батьківського вузла, в цьому випадку – до відповідного компонента знання. У колонці «Засвоєно» значення 0.1 означає, що, якщо компонент знання засвоєно, є низька ймовірність того, що вузол ДМ буде активований, і висока ймовірність (0.9) того, що він не буде працювати. В іншому випадку, якщо відповідний компонент знання є «незасвоєним», існує висока ймовірність (0.8) того, що вузол ДМ буде активований, і невисока ймовірність (0.2) того, що він не буде працювати, що відображується в можливому вгадуванні відповіді студентом.

Цей метод потребує створення діагностичних елементів, які дозволять навчальній системі діагностувати відповідні компоненти знань для кожної історії кроків і спроб. Система TITUS використовує такий підхід для одержання педагогічних рішень як невід'ємного елемента в зовнішньому і внутрішньому циклах. Пошук ефективних методів калібрування, що дозволяють скористатися перевагами саме такої топологічної мережі, є актуальною науково-технічною задачею для подальших досліджень.

Для моделювання знань студента побудуємо БМ, що складається з чотирьох змінних: K_t , S_{t+1} , DM і K_{t+1} , де K_t – знання і вміння студента

протягом часу t ; S_{t+1} – крок або дії студента протягом часу $t+1$, DM – діагностична модель, яка поєднується з діями студента і впливає на їх оцінювання протягом часу $t+1$; K_{t+1} – знання і вміння студента протягом часу $t+1$ (рис. 3.7).



• Рис. 3.7. Базова структура використання БМ

Величини $\neg K_t$, $\neg S_{t+1}$, $\neg DM$, $\neg K_{t+1}$ відображають додаткові ймовірнісні величини відповідних змінних. Наведемо необхідні рівняння, які відображають результат в мережі протягом часу t у разі правильних дій студента. Задамо в загальному вигляді таблиці ймовірностей для вузлів (табл. 3.6 – 3.9).

Таблиця 3.6

УІТ для вузла K_t

Компонент знань	Ймовірність
Засвоєно	$P(K_t)$
Не засвоєно	$P(K_t)$

Таблиця 3.7

УІТ для вузла S_{t+1}

Крок / K_t	Засвоєно	Не засвоєно
Правильний	$P(S_{t+1} K_t)$	$P(S_{t+1} K_t)$
Неправильний	$P(S_{t+1} K_t)$	$P(S_{t+1} K_t)$

Таблиця 3.8

УІТ для вузла DM

DM / K_t	Засвоєно	Не засвоєно
Активовано	$P(DM K_t)$	$P(DM K_t)$
Не активовано	$P(DM K_t)$	$P(DM K_t)$

УІТ для вузла K_{t+1}

<i>Інші вузли / K_t</i>	Засвоєно			
S_{t+1}	Правильний		Неправильний	
ДМ	Активовано	Не активовано	Активовано	Не активовано
Засвоєно	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$
Не засвоєно	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$
<i>Інші вузли / K_t</i>	Не засвоєно			
S_{t+1}	Правильний		Неправильний	
ДМ	Активовано	Не активовано	Активовано	Не активовано
Засвоєно	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$
Не засвоєно	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$	$P(K_{t+1} K_t, S_{t+1}, DM)$

Спочатку потрібно обчислити ймовірність для K_t при $P(S_{t+1}) = 1$ (правильна відповідь), $P(DM) = 0$ (не активовано):

$$\begin{aligned}
 P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) &= \alpha P(K_t, S_{t+1}, \neg DM) \\
 &= \alpha \sum_{K_{t+1}} P(K_t, S_{t+1}, \neg DM, K_{t+1}) = \\
 &= \alpha \sum_{K_{t+1}} P(K_t) P(S_{t+1} | K_t) P(\neg DM | K_t) P(K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, \neg DM) = \quad (3.17) \\
 &= \alpha [P(K_t) P(S_{t+1} | K_t) P(\neg DM | K_t) P(K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, \neg DM) + \\
 &\quad + P(K_t) P(S_{t+1} | K_t) P(\neg DM | K_t) P(\neg K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, \neg DM)];
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) &= \alpha P(\neg K_t, S_{t+1}, \neg DM) = \\
 &= \alpha \sum_{K_{t+1}} P(\neg K_t, S_{t+1}, \neg DM, K_{t+1}) = \\
 &= \alpha \sum_{K_{t+1}} P(\neg K_t) P(S_{t+1} | \neg K_t) P(\neg DM | \neg K_t) P(K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, \neg DM) = \quad (3.18) \\
 &= \alpha [P(\neg K_t) P(S_{t+1} | \neg K_t) P(\neg DM | \neg K_t) P(K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, \neg DM) + \\
 &\quad + P(\neg K_t) P(S_{t+1} | \neg K_t) P(\neg DM | \neg K_t) P(\neg K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, \neg DM)],
 \end{aligned}$$

де α – коефіцієнт нормалізації.

Далі слід обчислити ймовірність для K_{t+1} :

$$\begin{aligned}
P(K_{t+1}) = & P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, DM) P(S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, DM) P(S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, \neg DM) P(S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, \neg DM) P(S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | K_t, \neg S_{t+1}, DM) P(\neg S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | \neg K_t, \neg S_{t+1}, DM) P(\neg S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | K_t, \neg S_{t+1}, \neg DM) P(\neg S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(K_{t+1} | \neg K_t, \neg S_{t+1}, \neg DM) P(\neg S_{t+1}) P(\neg DM);
\end{aligned} \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
P(\neg K_{t+1}) = & 1 - P(K_{t+1}) = P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, DM) P(S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, DM) P(S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | K_t, S_{t+1}, \neg DM) P(S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | \neg K_t, S_{t+1}, \neg DM) P(S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | K_t, \neg S_{t+1}, DM) P(\neg S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | \neg K_t, \neg S_{t+1}, DM) P(\neg S_{t+1}) P(DM) + \\
& + P(K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | K_t, \neg S_{t+1}, \neg DM) P(\neg S_{t+1}) P(\neg DM) + \\
& + P(\neg K_t | S_{t+1}, \neg DM) P(\neg K_{t+1} | \neg K_t, \neg S_{t+1}, \neg DM) P(\neg S_{t+1}) P(\neg DM),
\end{aligned} \tag{3.20}$$

де $P(K_{t+1})$ – ймовірність того, що компонент знання було засвоєно;
 $P(\neg K_{t+1})$ – ймовірність того, що компонент знання не було засвоєно.

Далі, наприклад, можна використати конкретні значення ймовірностей, наведених у табл. 3.10 – 3.14.

Таблиця 3.10

УІТ для вузла K_t

<i>Компонент знань</i>	<i>Ймовірність</i>
Засвоєно	0.5
Не засвоєно	0.5

Таблиця 3.11

УІТ для вузла S_{t+1}

<i>Крок</i>	<i>Засвоєно</i>	<i>Не засвоєно</i>
Правильний	0.9	0.1
Неправильний	0.1	0.9

Таблиця 3.12

УІТ для вузла DM

ДМ K_t	Засвоєно	Не засвоєно
Активовано	0.1	0.2
Не активовано	0.9	0.8

Таблиця 3.13

УІТ для вузла K_{t+1}

K_t	Засвоєно			
S_{t+1}	Правильний		Неправильний	
ДМ	Активовано	Не активовано	Активовано	Не активовано
Засвоєно	1	1	0.6	0.7
Не засвоєно	0	0	0.4	0.3
K_t	Не засвоєно			
S_{t+1}	Правильний		Неправильний	
ДМ	Активовано	Не активовано	Активовано	Не активовано
Засвоєно	0.6	0.6	0	0
Не засвоєно	0.4	0.4	1	1

Використавши формули (3.17) і (3.18), отримаємо:

$P(K_t|S_{t+1}, DM) = \alpha(0.5 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 1 + 0.5 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0) = \alpha \cdot 0.405$, $P(K_t|S_{t+1}, DM) = \alpha(0.5 \cdot 0.1 \cdot 0.8 \cdot 0.6 + 0.5 \cdot 0.1 \cdot 0.8 \cdot 0.4) = \alpha \cdot 0.04$. Звідси, $\alpha(0.405 + 0.04) = 1$; $\alpha = 2.24719$; $P(K_t|S_{t+1}, DM) = 0.910112$; $P(K_t|S_{t+1}, DM) = 0.089888$, тобто впевненість в оволодінні знаннями в момент часу t змінюється з повної невизначеності до значень (0.9; 0.1). Підставивши отримані значення у формули (3.19) й (3.20), одержимо: $P(K_{t+1}) = 0.910112 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 + 0.089888 \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 1 + 0.910112 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0 + 0.089888 \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 0 + 0.910112 \cdot 0.6 \cdot 0 \cdot 1 + 0.089888 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 1 + 0.910112 \cdot 0.7 \cdot 0 \cdot 0 + 0.089888 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 = 0.964045$; $P(K_{t+1}) = 1 - P(K_{t+1}) = 0.035955$.

Контрольні запитання

1. У чому полягає особливість інтелектуального комп'ютерного навчання?
2. Що являє собою зовнішній цикл навчання ІКНП?
3. Як у формальному вигляді описати вибір наступного кроку в зовнішньому циклі?
4. Що являє собою внутрішній цикл навчання ІКНП?
5. Що таке баєсова мережа?
6. Якими є особливості застосування БМ для оцінювання знань студента?
7. Як використовують діагностичні моделі в БМ для оцінювання знань студента?
8. Як обчислюють імовірності для кожного вузла БМ при оцінюванні знань студента?

4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАВЧАННЯ

4.1. Структура апаратно-програмного комплексу

На рис. 4.1 зображено схему апаратно-програмного комплексу структурних блоків, в який входять три гіроскопічних датчики, встановлені на поворотній платформі, яка рухається за допомогою двигуна, що запускається модулем керування і збирання даних (МКЗД). Датчики оснащені блоком живлення. МКЗД контролює швидкість і обертання поворотної платформи за допомогою вбудованого блока керування рухом. Поворотна платформа і БГД (центральный блок) разом створюють імітаційний модуль, який імітує робочу ситуацію гіроскопічних датчиків, змінюючи своє положення.

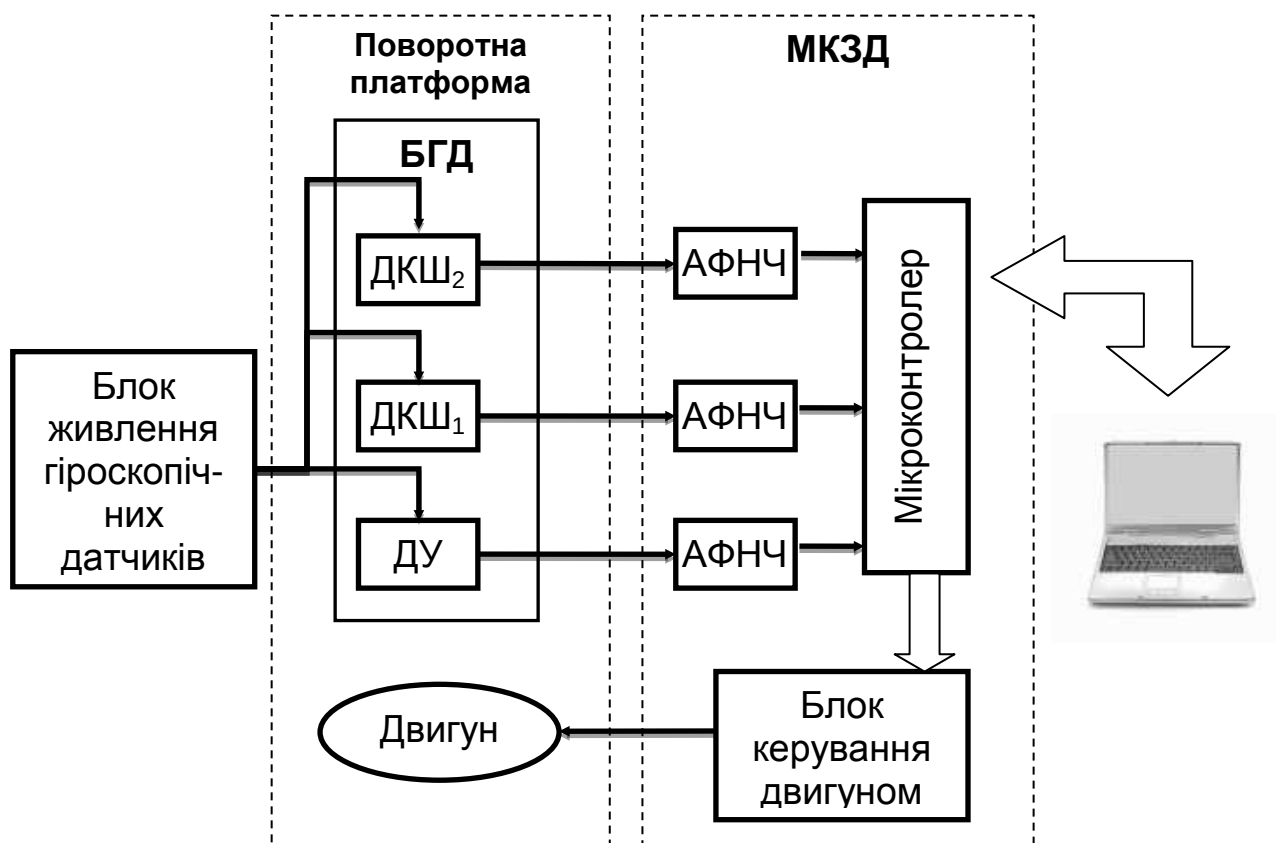


Рис. 4.1. Структурна схема апаратно-програмного комплексу

Сигнали датчика у вигляді аналогових напруг перетворюються мікроконтролером у цифрові сигнали, а потім спрямовуються на комп'ютер, де обробляються. Існують три аналогових фільтри низьких частот (АФНЧ), що розташовані між датчиками і мікроконтролером. Зв'язок між МКЗД і комп'ютером здійснюється за допомогою USB-з'єднання. Устаткування для зв'язку з USB розміщено в мікроконтролері.

4.2. Опис апаратного забезпечення

Модуль керування та збору даних. МКЗД містить три аналогових фільтри низьких частот, призначених для зниження шуму і запобігання накладення спектрів у процесі аналогово-цифрового перетворення.

Загальну схему цих фільтрів показано на рис. 4.2. Вони є активними фільтрами, і в них використані операційні підсилювачі MCP6022 Microchip™. Фільтри працюють від 5-вольтового USB-з'єднання через порт. Кожна інтегральна схема (IC) MCP6022 впорядкована двома операційними підсилювачами, розташованими в одному корпусі, що допомагає зменшити кількість компонентів і реалізувати рішення стосовно отримання і фільтрації сигналів датчика.

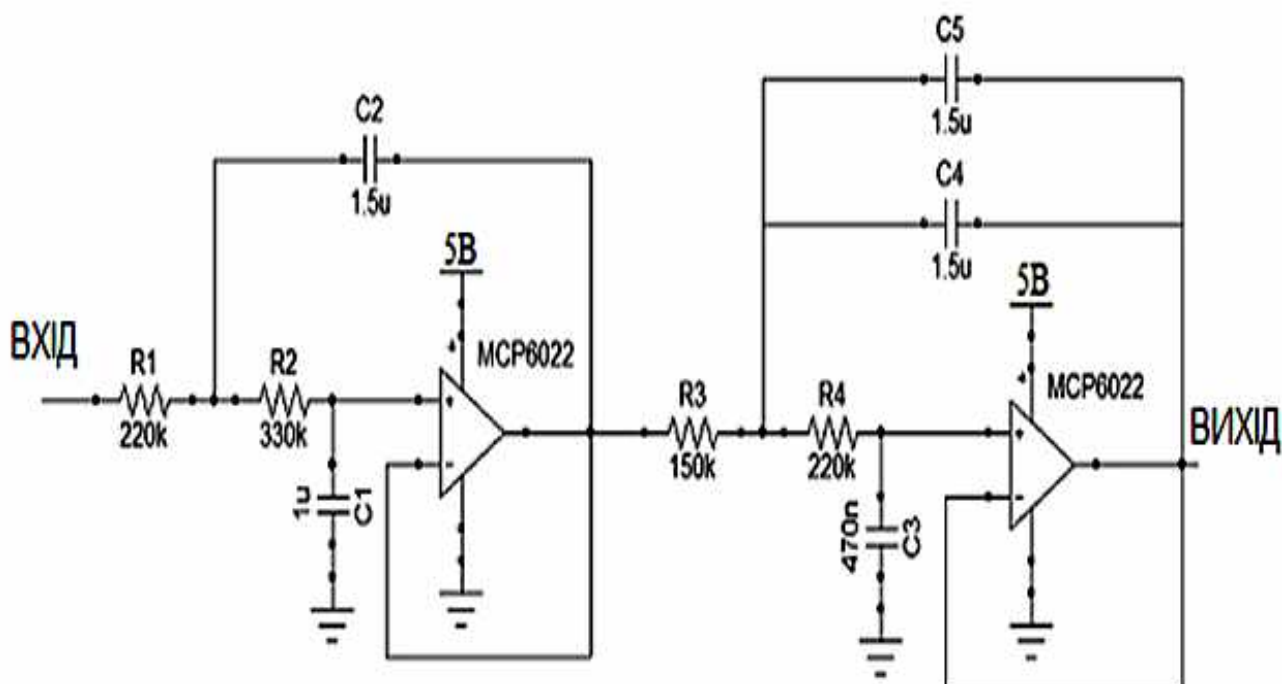


Рис. 4.2. Загальна схема АФНЧ

Технічні характеристики фільтра наведено в табл. 4.1. АФНЧ, що використані в МКЗД, мають такі ж характеристики.

Таблица 4.1

Технічні характеристики фільтра

Характеристика	Значення
Топологія ланцюга	SallenKey
Відповідь фільтра	Баттерворт
Етап фільтра	Другий
Гранична частота	0.6 Гц
Порядок	Четвертий

Фільтр було протестовано відповідно до програмного забезпечення TopSpice™ з урахуванням реальних показань ДКШ₂ для проведення тестування моделі MCP6022 марки Spice™. На рис. 4.3 зображено частоту і фазу відповіді фільтра.

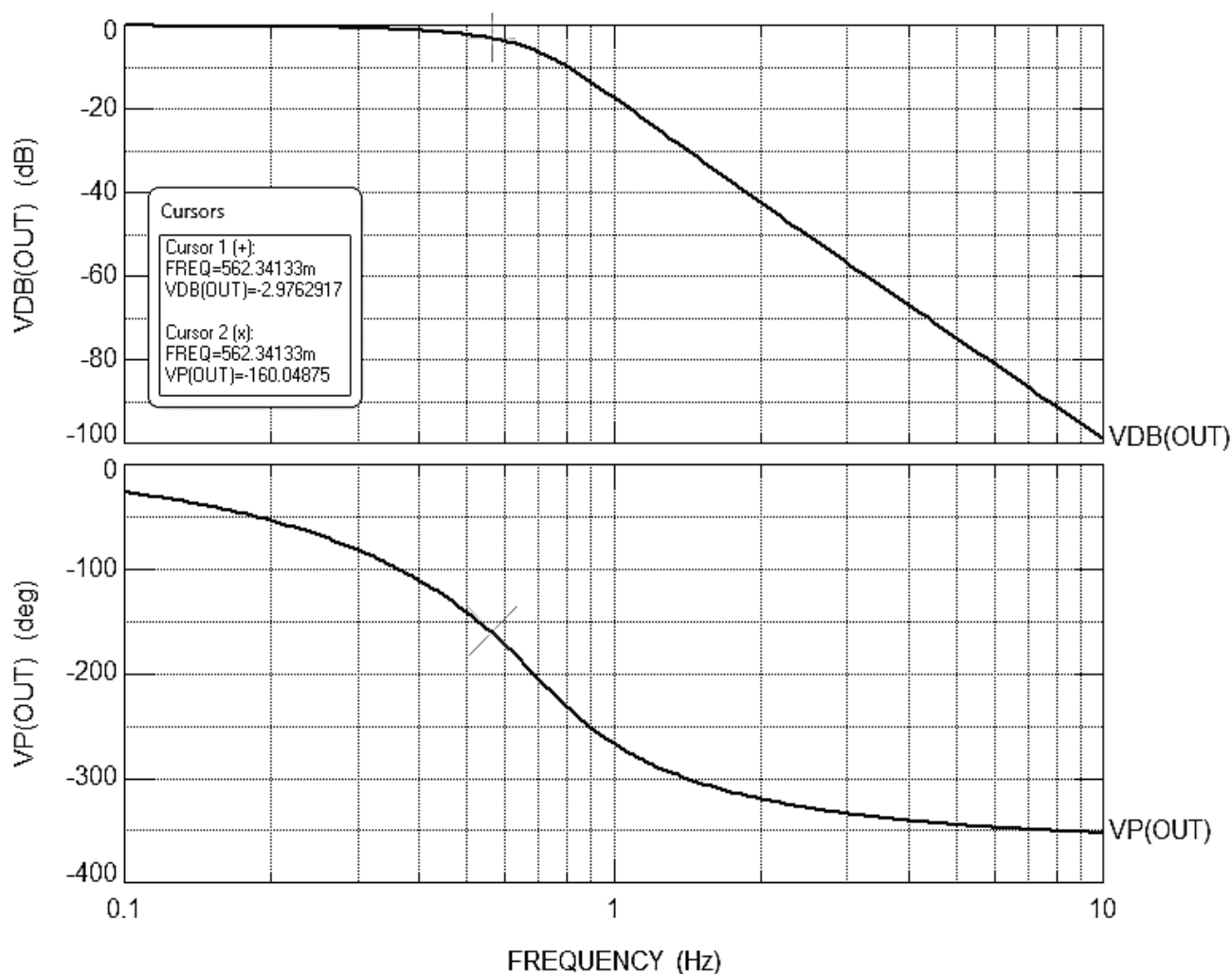


Рис. 4.3. Частота і фаза виходу АФНЧ

Результати цього моделювання є такими: гранична частота – ~ 0.56 Гц; фаза – $\sim -160^\circ$.

Для того, щоб протестувати поведінку фільтра, застосовувався тестовий сигнал від ДКШ₂ (рис. 4.4). Його вигляд свідчить про наявність двох сигналів: зашумленого вхідного і вихідного із застосуванням фільтра. Основою МКЗД є Microchip © PIC18F2550 – мікроконтролер, в який вбудовано 10-бітовий аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що має десять мультиплексованих входів.

Як опорна напруга для перетворення використовується напруга відповідного мікроконтролера живлення, що дорівнює 5 В. Загальну блок-схему АЦП зображено на рис. 4.5.

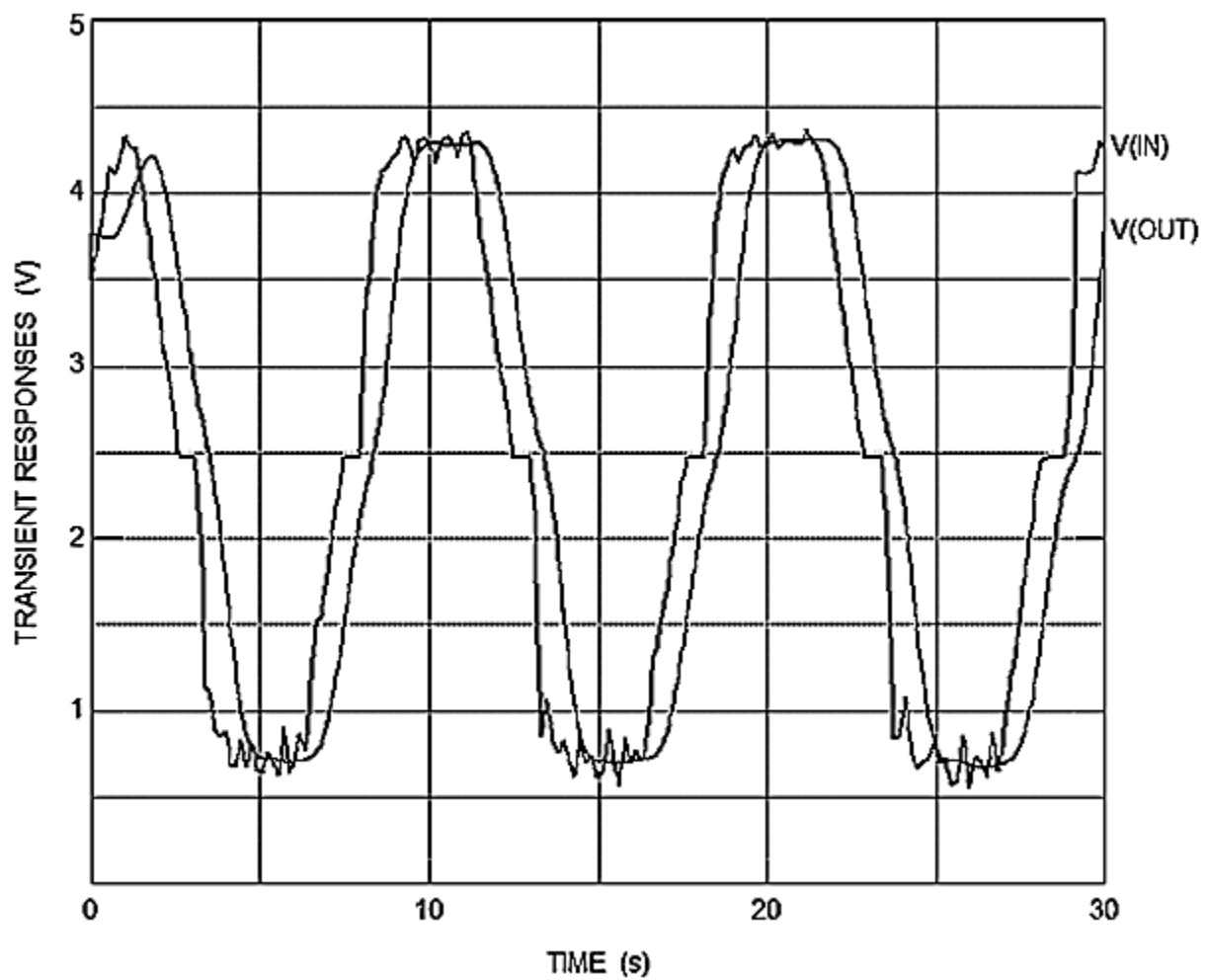


Рис. 4.4. Сигнал АФНЧ, отриманий від ДКШ₂

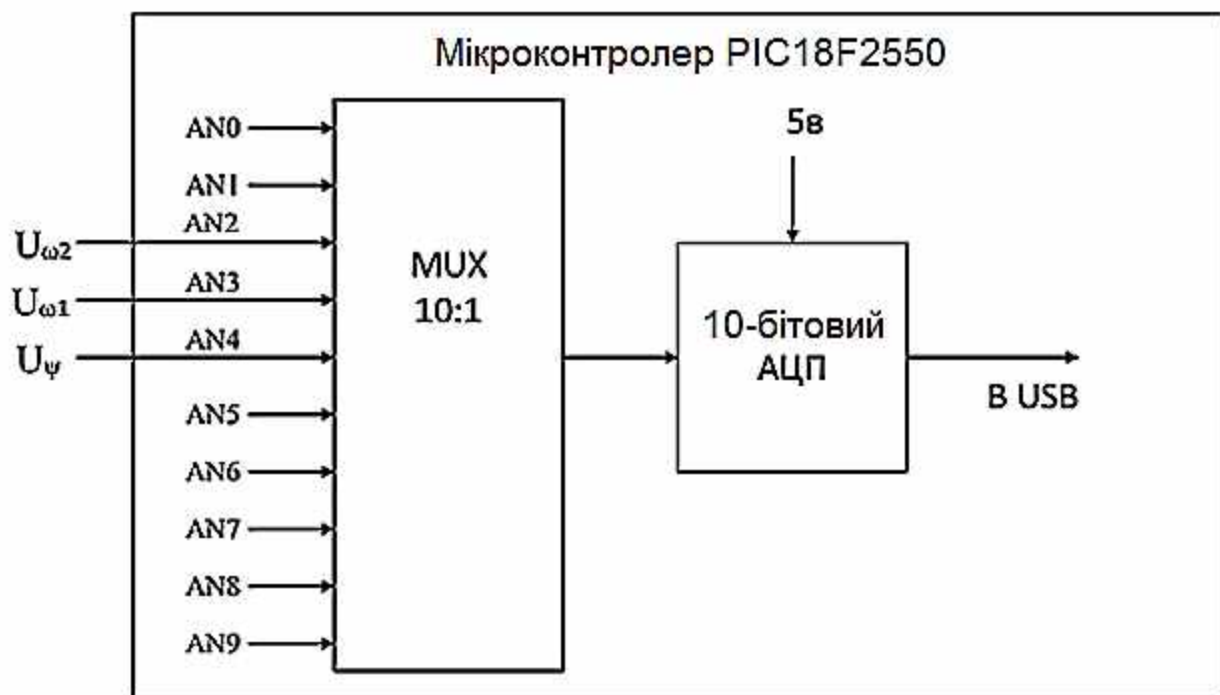


Рис. 4.5. Загальна схема АЦП

На рис. 4.5 дані $U_{\omega 2}$, $U_{\omega 1}$, і U_{ψ} є сигналами від ДКШ₂, ДКШ₁ і ДК відповідно після застосування аналогових фільтрів низьких частот. Після введення в мікроконтролер вони мають пройти через мультиплексор (MUX), який має 10 входів (AN0 – AN9). З рис. 4.5 видно, що використовувані входи були під номерами AN2 – AN4. Мультиплексор має вибрати з вхідних сигналів один і передати його на 10-бітовий АЦП, який перетворює аналогові сигнали від датчиків в цифрові імпульси, а потім передає їх на модуль USB для відправлення на комп'ютер.

Пристрій PIC18F2550 містить USB високої (12 Мбіт/с) і низької швидкостей (1,5 Мбіт/с) і з'єднується з ним через послідовний інтерфейс (ПІ), що дозволяє користуватися швидким зв'язком між будь-яким хостом USB і мікроPIC. ПІ може бути підключеним до USB через внутрішній або зовнішній трансивер. Внутрішній регулятор є доступним для живлення внутрішнього трансивера, що дорівнює 5 В. Зв'язок між PIC і хост-комп'ютером здійснюється на повній швидкості, що дорівнює 12 Мбіт/с. Блок керування двигуном, оснований на драйвері A3949 DMOS-двигуна (рис. 4.6), розроблено Allegro © Microsystems Incorporation.

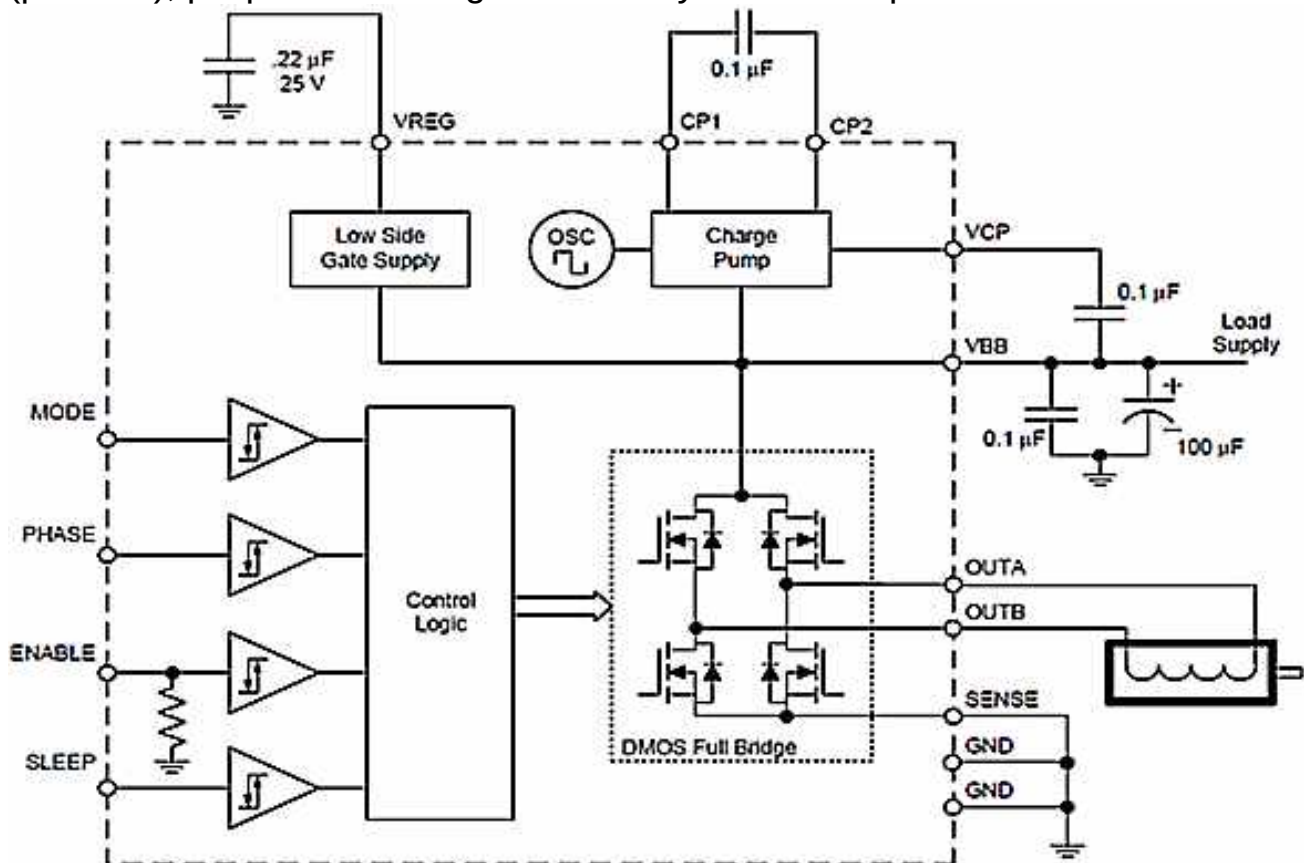


Рис. 4.6. Функціональна схема драйвера A3949

Драйвер двигуна призначено для широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) керування двигунами постійного струму. Його використовують при пікових струмах виходу $\pm 2,8$ А і робочій напрузі до 36 В. Як видно з

рис. 4.6, фазу і вхід терміналів він використовує в процесі керування швидкістю і напрямками постійного струму ШІМ зовнішніх сигналів.

У внутрішній схемі керування передбачено синхронний зсув драйвера для зниження потужності під час ШІМ. Для захисту внутрішньої схеми застосовують вимкнення живлення при перегріванні, контроль за напругою навантаження і живленням (V_{BB}), моніторинг заряду напруги при завантаженні (V_{CP}), а також кросовер струмового захисту. Опис складових елементів драйвера наведено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Опис складових елементів драйвера А3949

Назва	Опис
MODE	Швидкий / повільний відбір розпаду
PHASE	Напрямок уперед / назад
GND	Земля
SLEEP	Опція вибору режиму очікування
ENABLE	Опція ввімк / вимк, вхід для ШІМ
OUTA	Вихід А мостової схеми
OUTB	Вихід В мостової схеми
SENSE	Зворотний провід живлення
VBB	Напруга при завантаженні
CP1	Конденсатор 1 генератора підкачування заряду
CP2	Конденсатор 2 генератора підкачування заряду
VCP	Резервуар конденсатора
VREG	Низька сторона розриву живлення

Сигнал ШІМ, який є необхідним для керування у драйвері А3949 опцією «ввімкнення» терміналу, задається PIC18F2550. Він здатен виробляти ШІМ-сигнал з 10-бітовим дозволом для керування швидкістю двигуна, який відповідає за обертання поворотної платформи в БГД. Цей ШІМ-сигнал має частоту 20 кГц і амплітуду 5 В. Однак драйвер А3949 призначено для посилення сигналу амплітудою до 24 В, оскільки це значення є основним для потужності навантаження. Це означає, що двигун БГД буде житися цією потужністю. Інші сигнали керування в А3949, MODE, PHASE і SLEEP також спрямовані в мікроконтролер. Вони є простими логічними цифровими сигналами. Опція терміналу MODE є необхідною для керування зупинкою або запуском двигуна з метою зниження потужності, що розсіюється, і уникнення пошкодження ланцюгів. PHASE відповідає за керування платформою в напрямках вперед і назад, за допомогою опції SLEEP терміналу вмикається або вимикається драйвер А3949. Це необхідно, коли БГД є неактивним, а SLEEP терміналу вмикається для зниження споживання енергії. Схему з'єднань МКЗД з повним набором електронних компонентів та інтегральних схем, які складають МКЗД, а також їх взаємозв'язок зображено на рис. 4.7.

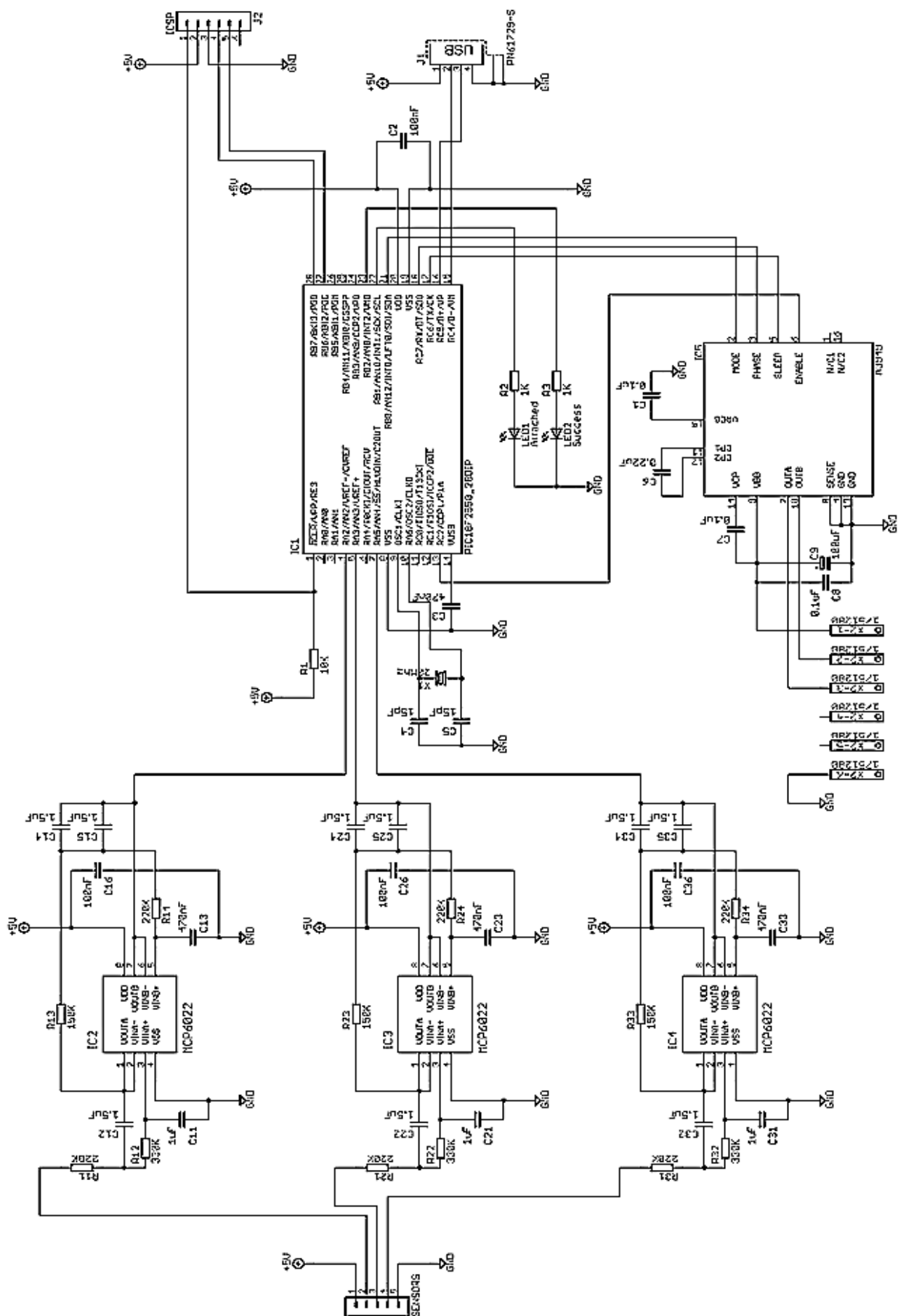


Рис. 4.7. Електрична схема МКЗД

4.3. Опис програмного забезпечення

Програмне забезпечення, використовуване в технічній інтелектуальній навчальній системі TITUS, контролює роботу апаратних засобів і адміністрування всіх ресурсів. Воно є зручним для користувача графічним інтерфейсом, тому що дає можливість проаналізувати всі переваги, які має система.

Програмне забезпечення написано мовою програмування C#. TITUS містить два програмних модулі, призначених для різних стилів навчання або підтримки в навчанні. Ці модулі зображено на рис. 4.8.

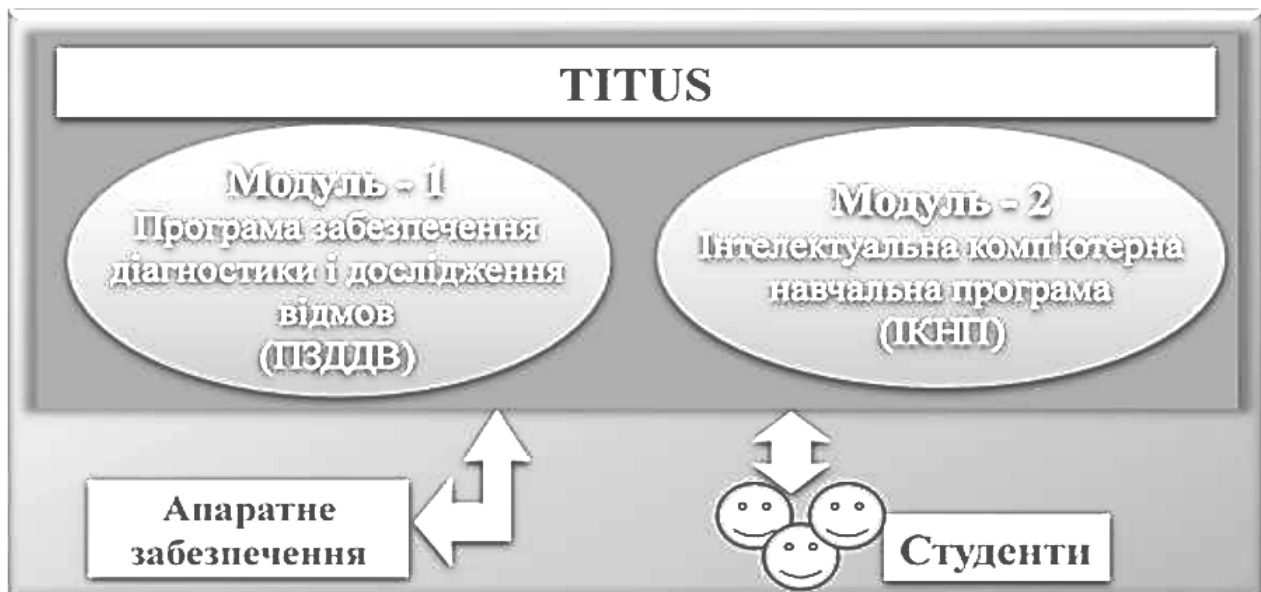


Рис. 4.8. Внутрішня модульна структура TITUS

Перший модуль надає студентам зручну платформу для вивчення 32-х видів відмов, що відображаються в БГД. Відмови можна імітувати в кожному гіроскопічному датчику, тоді як студент спостерігає за їх відображенням в системі в реальному часі. Перший модуль дозволяє студентам проводити діагностування БГД. Ця процедура допомагає їм зрозуміти застосовувані алгоритми й те, як здійснюється діагностування, що є можливим завдяки кільком діаграмам. Тому студенти можуть відстежувати і аналізувати в реальному часі сигнали гіроскопічного датчика, їх поведінку при різних видах перешкод, а також необхідні оброблювані сигнали для діагностування БГД. Студенти в кожний момент часу можуть ввести будь-який вид розкритих відмов в один з трьох гіроскопічних датчиків.

Другий модуль – це частина TITUS, яка забезпечує студентам і розробникам підтримку в навчанні. Цей модуль допомагає їм зрозуміти і вивчити всі концепції, одержати необхідні теоретичні знання про алгоритми діагностування і методики, що застосовуються в БГД.

У графічному інтерфейсі студентам для вирішення надаються різні завдання, він спонукає і допомагає їм конструктивно безперервно підвищувати свій рівень знань. Другий модуль – це інструмент, що спрямовує студентів на здобуття і розвиток знань інтерактивними методами. Другий модуль адаптує і контролює потік завдань, які студенти мають вирішити, завдяки такій його функції створюється індивідуальна цільова навчальна програма для кожного студента згідно з його успішністю.

Цей модуль може допомагати атестувати і оцінювати успішність групи студентів, а також кожного студента окремо, це дасть змогу вчителям або приватним репетиторам спостерігати за успішністю студентів, отримувати інформацію про рівень їхніх знань, надасть допомогу студентам в підтвердженні своїх знань або в зосередженні уваги на тих компонентах знань, з освоєнням яких у них є труднощі, або рівень цих знань є низьким.

Ці два програмних модулі TITUS є корисними інструментами, які допомагають студентам застосовувати, розуміти і вивчати алгоритми, методики та компоненти для реалізації діагностики з метою побудови відмовостійких систем підтримки блока БГД. Далі розглянемо ці два модулі детально.

4.3.1. Програмне забезпечення діагностики і вивчення відмов

Просту блок-діаграму для розуміння структури програмного забезпечення з діагностики і дослідження відмов (ПЗДДВ), яка раніше була подана під назвою «1-й модуль» апаратно-програмного комплексу (АПК), зображено на рис. 4.9.

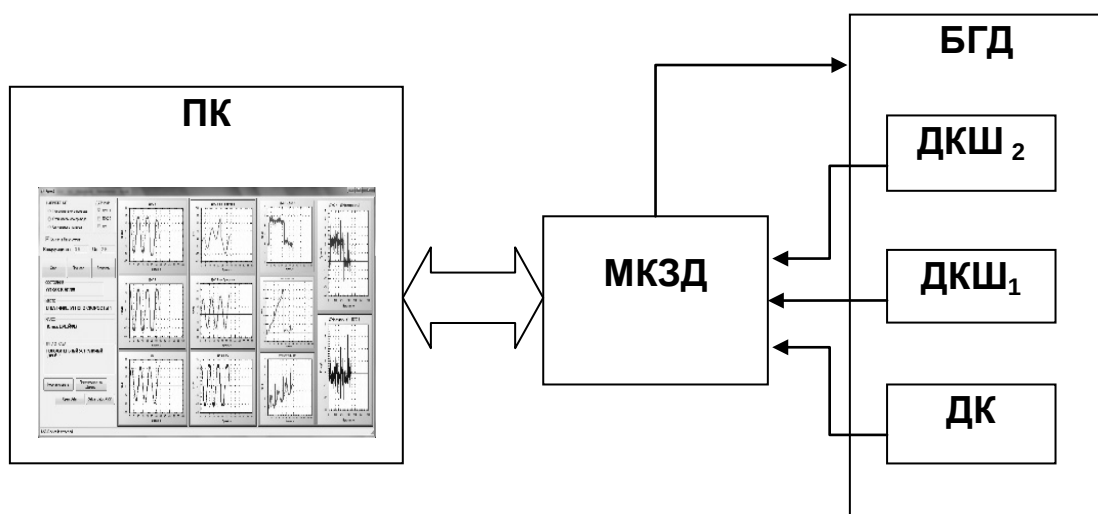


Рис. 4.9. Структурні блоки програмного забезпечення з вивчення діагностики

На діаграмі добре видно, як БГД зв'язано з персональним комп'ютером (ПК) за допомогою МКЗД. ПК відповідає за оброблення сигналів, їх відображення з метою вивчення алгоритму відмовостійкої підтримки і імітації відмов кожного гіроскопічного датчика. Аналогові сигнали, що виходять від гіроскопічних датчиків, встановлених на БГД, оцифровуються за допомогою МКЗД і передаються USB-інтерфейсом на ПК, який обробляє їх в реальному часі. Крім цього, МКЗД відповідає за ввімкнення і вимкнення поворотної платформи БГД, а також за змінення швидкості її повороту і напрямку обертання.

Графічний інтерфейс ПЗДДВ оснащено різними засобами керування, які дозволяють змодельювати відмови в БГД, розробити діагностику та застосувати алгоритми для отримання характеристики системи. Різні фрагменти графічного інтерфейсу ПЗДДВ показано на рис. 4.10.

ПЗДДВ може імітувати серію з 32-х різних видів відмов, які наведено для кожного гіроскопічного датчика в табл. 2.2.

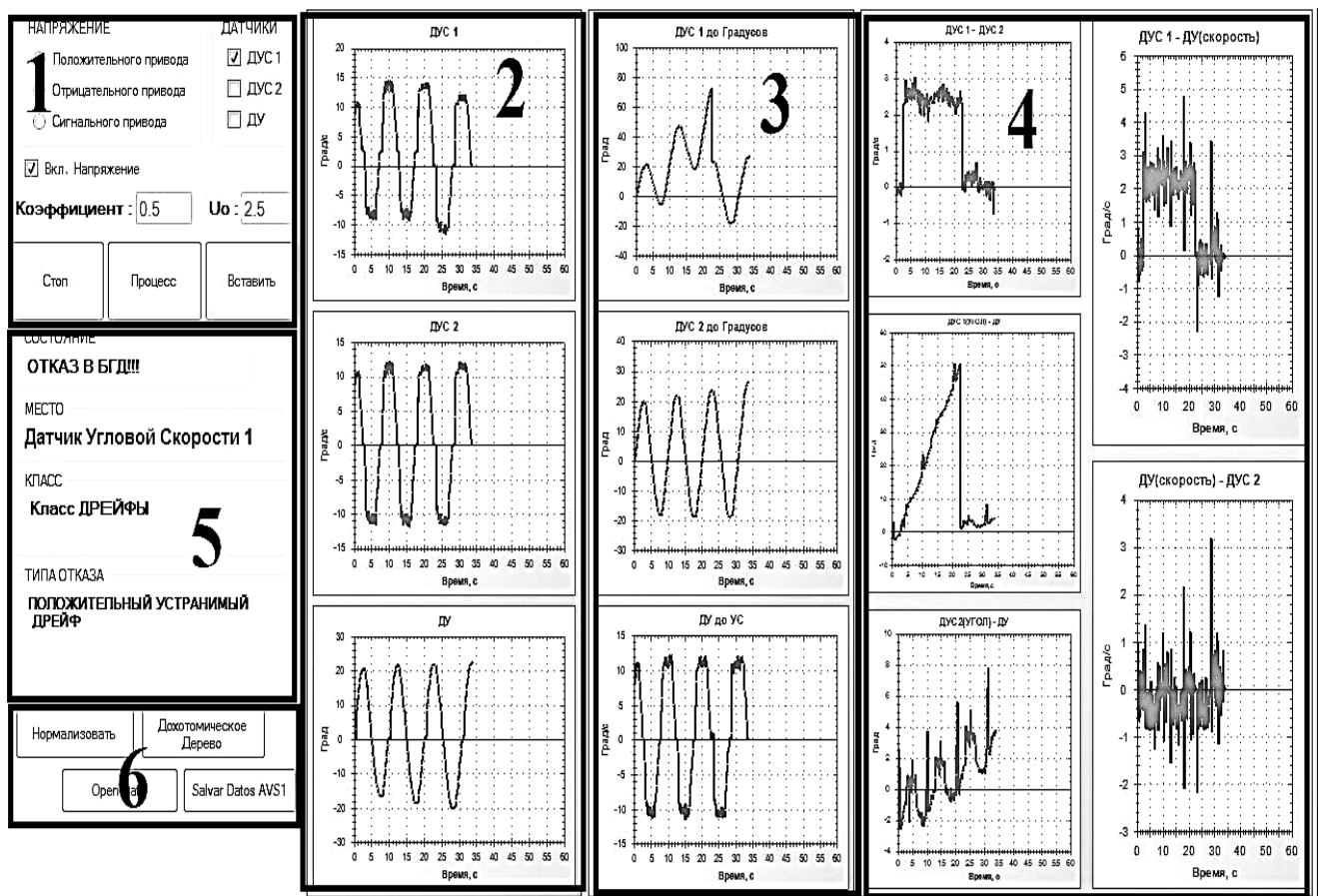


Рис. 4.10. Фрагменти графічного інтерфейсу ПЗДДВ:

- 1 – засоби керування з вибору датчика і параметрів для імітації відмов;
- 2 – сигнали гіроскопічних датчиків, що надходять з ДКШ₂, ДКШ₁ і ДК;
- 3 – необхідні гетеродинні сигнали для кожного гіроскопічного датчика;
- 4 – параметричні сигнали системи; 5 – панель для діагностики стану системи; 6 – керування даними

Наприклад, студент зможе виконати імітацію догляду напруги в діапазоні від -15 В до +15 В або самостійно змінити значення коефіцієнта передачі для будь-якого з трьох гіроскопічних датчиків одночасно. ПЗДДВ створено для роботи з БГД, а також в автономному режимі. Коли ПЗДДВ працює в автономному режимі, дані, які використовуються, є реальними даними гіроскопічних датчиків, які були збережені заздалегідь.

Ця функція дозволяє студентам використовувати ПЗДДВ без підключення до БГД. Тому студенти можуть використовувати програму в будь-якому місці і в будь-який час виходячи зі своїх бажань або потреб в навчанні.

Таким чином, ПЗДДВ є практичним інструментом, що забезпечує допомогу студентам у вивченні відмовостійкої системи, яка застосовується в БГД, відповідно до сигнально-параметричних підходів. Замкнутий взаємозв'язок систем за допомогою експериментальної електричної схеми, а також остаточний вигляд МКЗД показано на рис. 4.11 і рис. 4.12 відповідно.

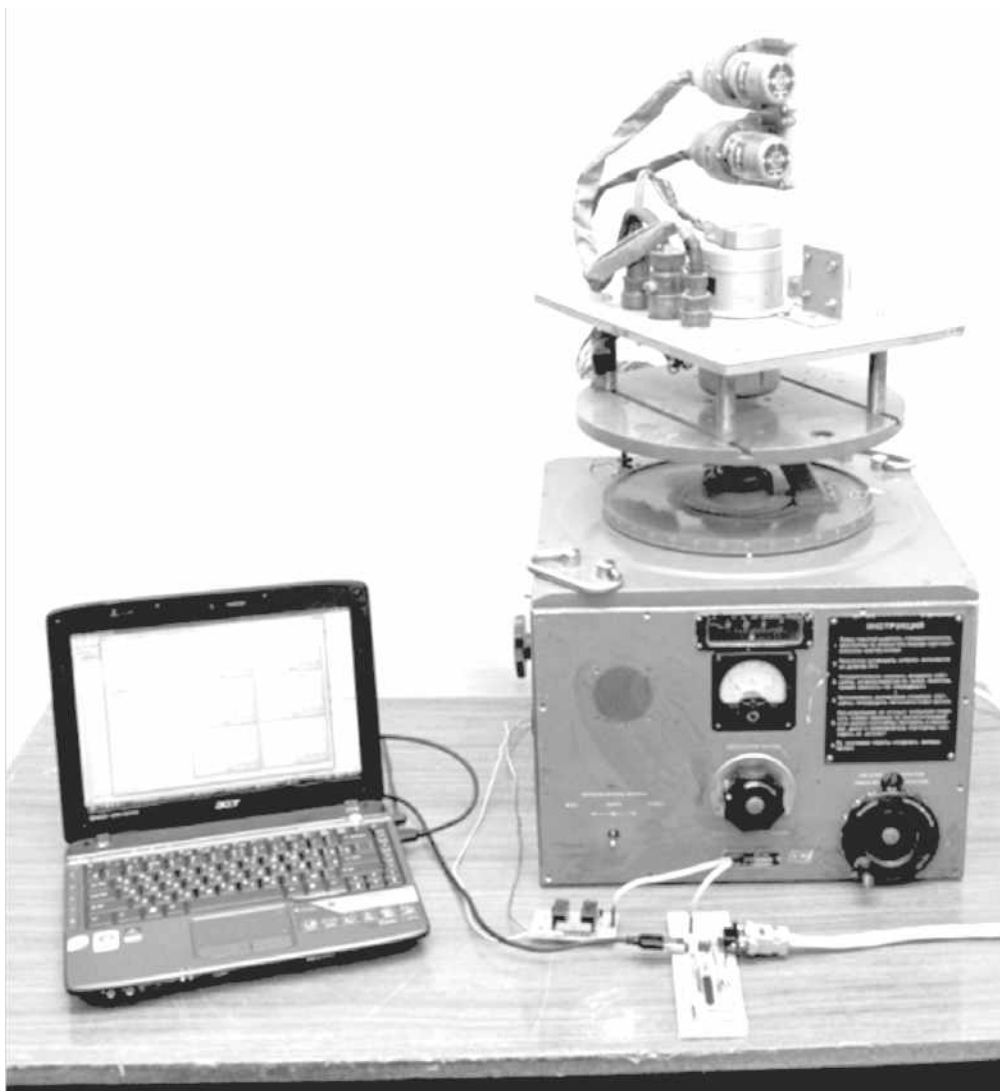


Рис. 4.11. Зовнішній вигляд лабораторного стану

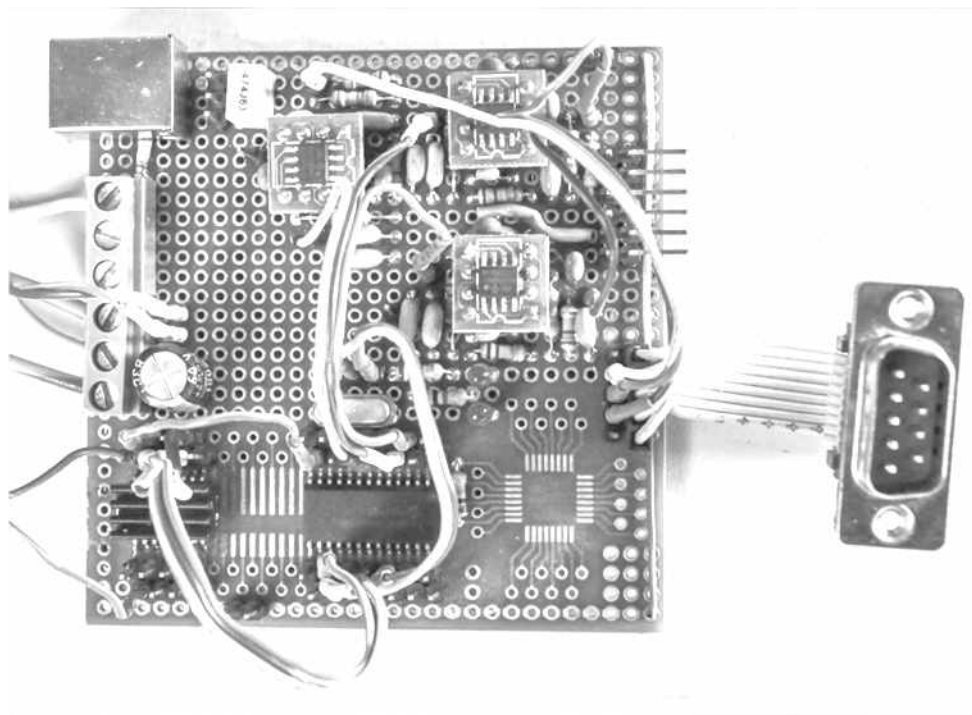


Рис. 4.12. Електрична плата МКЗД

4.3.2. Інтелектуальна комп'ютерна навчальна програма в TITUS

Другий модуль TITUS належить до інтелектуальної комп'ютерної навчальної програми (ІКНП). Види комп'ютерних програм, як вже було зазначено в даній роботі, призначено для надання допомоги і підтримки в навчальній діяльності. Вони пропонують нові способи освіти, які можуть змінити роль навчання або вчителя, а також посилити її.

Такі системи можуть бути використані в постійно діючих курсах через Інтернет або як додаток на окремих комп'ютерах. Добре відомо, що студенти засвоюють більше при персональному навчанні, і головною особливістю, що відрізняє ІКНП від більш традиційних освітніх систем, є її здатність тлумачити дії студентів для підтримання індивідуальної моделі міркування і навчання студентів, яку називають моделлю студента.

Такого роду інтерпретація, пристосованість і атестація студентів є дуже важливими функціями ІКНП, що підвищують ефективність освітнього процесу. За допомогою TITUS реалізується адаптивна педагогічна модель, яка використовує баєсові мережі (БМ) для оцінювання індивідуальності студентів і прийняття педагогічних дій відповідно до успішності кожного студента. Навчальний план в TITUS розроблено відповідно до сигнально-параметричних підходів щодо відмовостійких систем [25]. ІКНП в TITUS у випадку з адаптивною педагогічною моделлю буде спрямовувати студентів, підтримувати їх і допомагати у засвоєнні необхідних компонентів знань для розуміння відмовостійких систем, що ґрунтуються на сигнально-параметричному підході, зокрема БГД.

4.3.3. Загальна архітектура ІКНП в TITUS

Загальну архітектуру ІКНП показано на рис. 4.13. ІКНП отримує цінну інформацію від студента, яка є корисною для того, щоб дізнатися, що викладати, кому і як. ІКНП розроблено як комп'ютерну програму, що містить повний конспект лекцій навчальної програми, і на вимогу ці лекції можна оцінювати.

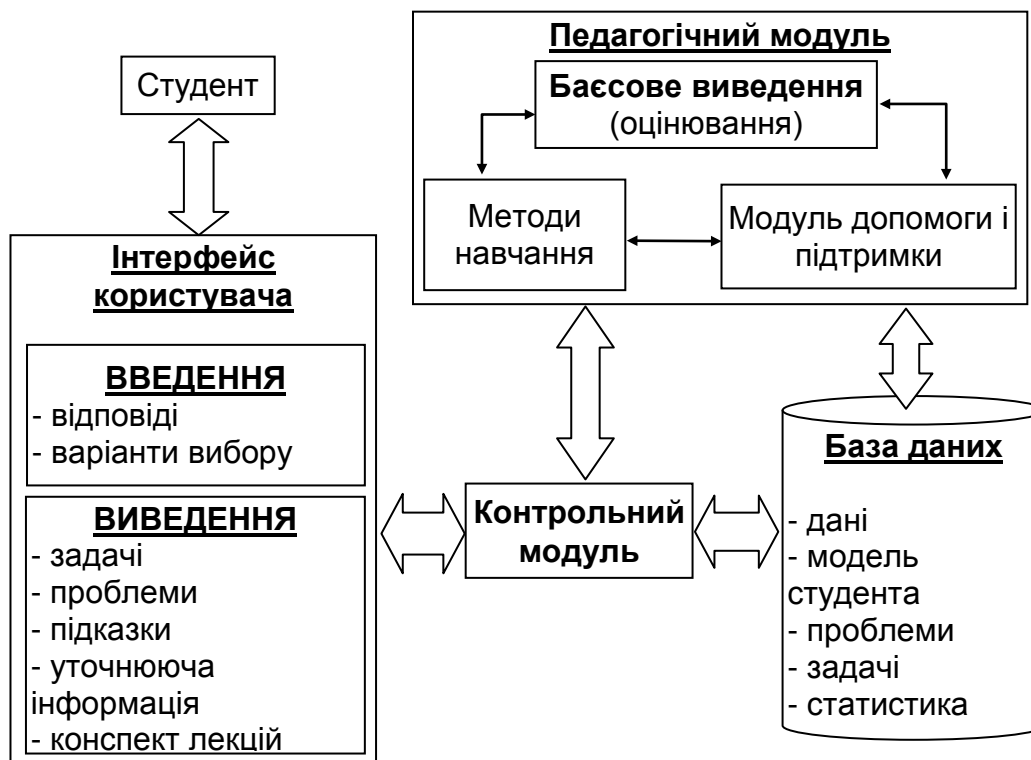


Рис. 4.13. Загальна архітектура ІКНП (модуль допомоги і підтримки)

Інтерфейс – це середовище, в якому студент буде виконувати певні дії і робити спроби щодо вирішення різних видів завдань і проблем. Інтерфейс працює як графічний портал підтримки, який може надавати підказки, зауваження та коментарі крім іншої важливої інформації.

Контрольний модуль відповідає за оброблення та адміністрування потоку інформації, що надходить від інших блоків або входить в них. Необхідні педагогічні процеси (зовнішній і внутрішній контури) пов'язані з блоком методів навчання і модулем допомоги і підтримки. Саме тут вирішуються педагогічні проблеми або виконуються дії відповідно до блока баєсового виведення (оцінювання). Блок аналізу завдань, частина блока баєсового виведення безперервно стежать за відповідями студентів і, якщо необхідно, надають підтримку, тобто підказки, зауваження та коментарі за допомогою модуля допомоги і підтримки.

База знань складається з експертних знань з предметної області та інформації, яка зберігається в міру використання ІКНП студентами, крім

цього, вона запитується, оновлюється і переробляється. У ній також міститься повний комплекс компонентів знань, конспектів уроків, завдань і проблем, які будуть запитані на вимогу. База знань фіксує повний стан системи, а також успішність студента, саме таким чином система і створює модель студента.

Модель студента являє собою базу даних, в якій міститься інформація про студента: правильні й неправильні відповіді, спроби вирішення кожної задачі, витрачений на відповідь час, середній час виконання кожного завдання, ступінь оволодіння кожним компонентом знань, прізвище, ім'я та по батькові студента та інша інформація. Така інформація використовується для проведення атестації студентів, а атестація – для визначення необхідних педагогічних дій і рішень з метою підтримання безперервного і продуктивного освітнього процесу.

Педагогічний модуль

Як вже було розглянуто, при аналізі навчальної програми як набору завдань, кожне з яких може бути вирішено за допомогою одного або декількох варіантів, призначення навчальної системи може бути поділено на два основних контури: зовнішній, що стосується завдань, і внутрішній, що стосується варіантів вирішення завдань.

Зовнішній цикл. Основною функцією блока методів навчання, названим зовнішнім циклом, є ухвалення рішення про те, яке завдання студент має виконувати наступним. Основні питання розроблення містять таке:

- грамотний вибір завдання;
- отримання достатнього набору завдань, з яких робиться вибір.

У ІКНП вибір завдань виконується студентом трьома різними способами. Вони вказуються у порядку, де найпростіший метод зазначено першим:

1. У зовнішньому циклі завдання наводяться в певній послідовності. Такий підхід застосовується для оцінювання початкового ступеня оволодіння компонентами знань студентом з предметної області. Таким чином, студент в першу чергу має вирішити 17 визначених завдань або відповісти на запитання для того, щоб завершити початкову атестацію і перейти до режиму навчання. Початкова атестація використовується зовнішнім контуром для прийняття відповідних педагогічних дій для того, щоб студент почав роботу в режимі навчання.

2. У зовнішній цикл введено компонент під назвою «досягнення майстерності», в якому навчальний план структуровано як послідовність навчальних модулів; завдання в цих навчальних модулях мають послідовність рівнів складності. Коли студент працює з навчальним модулем, навчальна система постійно дає завдання, що стосуються цього навчального модуля, доти, доки студент не опанує повністю всі

компоненти знань з такого модуля. Тільки після цього студентів дозволяється переходити до наступного навчального модуля. Предметну область в ІКНП поділено на три послідовних блоки (табл. 4.3). Студент має оволодіти відповідними компонентами знань в поточному робочому блоці для того, щоб спробувати вирішити завдання в наступних блоках до повного завершення навчальної програми.

Таблиця 4.3

Структура навчальної програми в ІКНП

Модуль	Рівень складності	Номери завдань
1. Статична характеристика	1	30, 31
	2	1, 2
	3	32, 33, 34, 35
2. Пошук місця відмови	2	40, 41, 42, 43
	3	36, 37, 38, 39
3. Визначення класу і виду відмови	1	3, 12, 25, 5, 7, 14, 6, 13, 26
	2	4, 15, 20, 27, 28, 29
	3	8, 16, 21, 9, 17, 22, 10, 18, 23, 11, 19, 24

Як наведено в табл. 4.3, 43 завдання, які реалізуються в ІКНП, поділено на три рівні складності, в кожному рівні складності і блоці міститься певна кількість завдань. Кожен раз, коли студент починає працювати з новим блоком, ІКНП вибирає другий рівень складності за винятком першого разу, коли студент починає виконувати навчальну програму, в якій рівень складності і завдання будуть вибиратися виходячи з результатів, які студент отримав за перший тест, як зазначено в пункті 1 зовнішнього циклу. Рівень складності змінюється згідно з успішністю студента і такими поясненнями:

- якщо відповідь студента є неправильною, зовнішній цикл знизить рівень складності або збереже його на мінімальному рівні для наступного виконаного завдання внаслідок того, що, можливо, останнє завдання виявиться занадто складним для студента;
- якщо відповідь студента є правильною, зовнішній цикл підвищить рівень складності або збереже його на максимальному рівні для наступного виконаного завдання внаслідок того, що, можливо, останнє завдання виявиться занадто простим для студента;

3. Третя педагогічна модель, що реалізована в ІКНП, є більш складною і називається «макроадаптація». Для виконання кожного завдання, яке призначає ІКНП, відомо, які компоненти знань є необхідними для цього. ІКНП оцінює ступінь оволодіння студентом кожним компонентом знань з предметної області.

Коли студент завершить виконання завдання, викладачеві потрібно підібрати наступні на основі оволодіння студентом відповідними

компонентами знань у даному навчальному модулі, і він завжди буде вибирати завдання, які містять в собі компоненти знань з найменшим ступенем оволодіння, які ще не є вивченими. Вибране завдання має відповідати другій педагогічній моделі.

Предметна область, яку було описано у розд. 2, складається з 29 відповідних компонентів, яким присвоєно букву «К» (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Відповідні компоненти знань в ІКНП

Компоненти	Опис
K1	Коефіцієнт передачі ДК
K2	Мінімальний кут ДК
K3	Максимальний кут ДК
K4	Мінімальна вихідна напруга ДК
K5	Максимальна вихідна напруга ДК
K6	Коефіцієнт передачі ДКШ
K7	Мінімальний кут ДКШ
K8	Максимальний кут ДКШ
K9	Мінімальна вихідна напруга ДКШ
K10	Максимальна вихідна напруга ДКШ
K11	Клас відмови «Обрив»
K12	Обрив позитивного приводу живлення
K13	Клас відмови «Зміна коефіцієнта»
K14	Вид відмови «Зменшення коефіцієнта передачі»
K15	Обрив сигнального проводу
K16	Обрив негативного проводу живлення
K17	Клас «Дрейф»
K18	Позитивний неусувний дрейф нуля
K19	Позитивний усувний дрейф нуля
K20	Негативний неусувний дрейф нуля
K21	Негативний усувний дрейф нуля
K22	Переорієнтація (або зміна фаз гіромотора)
K23	Характеристичне рівняння ДК
K24	Характеристичне рівняння ДКШ
K25	Ознаки місця відмови
K26	Стан ознак відмови в ДКШ ₂
K27	Стан ознак відмови в ДКШ ₁
K28	Стан ознак відмови в ДК
K29	Стан ознак невідомого місця відмови

При макроадаптації відомо, які компоненти знань є потрібними для виконання кожного завдання. Взаємозв'язок 43-х завдань, реалізованих в ІКНП, і компонентів знань, якими необхідно оволодіти при їх вирішенні, наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Завдання і їх відповідні компоненти

Завдання	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24	K25	K26	K27	K28	K29	Вариант
1	X	X	X	X	X																									1
2						X	X	X	X	X																				1
3											X	X																		1
4													X	X																6
5											X				X															1
6											X					X														1
7											X				X															1
8																	X	X												9
9																	X		X											6
10																	X			X										6
11																	X				X									9
12											X	X																		1
13											X					X														1
14											X				X															1
15													X	X																6
16																	X	X												9
17																	X		X											6
18																	X			X										6
19																	X				X									9
20													X	X																6
21																	X	X												9
22																	X		X											6
23																	X			X										6
24																	X				X									9
25											X	X																		1
26											X					X														1
27													X									X								1
28													X									X								1
29													X									X								1
30		X	X	X	X																									1
31							X	X	X	X																				1
32	X																						X							16
33						X																		X						20
34	X																						X							22
35						X																		X						22
36																									X	X				1
37																									X		X			1
38																									X			X		1
39																									X				X	1
40																									X	X				1
41																									X		X			1
42																									X			X		1
43																									X				X	1
																												212		

Деякі з цих завдань складаються з більш ніж одного варіанта. Така особливість впливає на збільшення набору до 212 різних завдань, які можуть бути надані студентам.

Педагогічна модель піднімає процес вибору завдань на більш високий рівень, крім оцінювання оволодіння компонентами знань. Вона також веде моніторинг на індивідуальному рівні і підраховує кількість неправильних відповідей стосовно кожного компонента знань або ж підраховує як правильні, так і неправильні відповіді в кожному завданні. Таким чином, ІКНП може не тільки зробити висновок щодо правильної або неправильної відповіді студента, але й визначити, які компоненти знань виявилися для студента найбільш складними для сприйняття, а також ті завдання, в яких такі компоненти мали бути використані.

Подібна інформація застосовується викладачем для вибору завдання, яке допоможе студентові усунути його неправильні тлумачення і недоліки. Отже, мета зовнішнього контуру навчальної системи полягає у виборі завдань для вирішення студентами.

Внутрішній цикл. У той час, як блок методів навчання (зовнішній цикл) стосується завдань, модуль допомоги і підтримки, названий внутрішнім контуром, належить до дій або кроків інтерфейсу користувача, що є частиною виконання завдання (вирішення задачі).

Зокрема, внутрішній контур в педагогічній моделі надає студентам такі послуги:

- мінімальну інформацію про крок. Таким чином, викладач визначає, крок є правильним або неправильним;
- підказки щодо неправильних тлумачень або помилок в певних компонентах знань;
- уточнюючу інформацію про помилку в разі неправильних кроків, що допомагає студентові зосередитися на визначенні, який крок або компонент знань є неправильним і як уникнути його надалі;
- оцінювання знань.

Такі послуги призначені допомогти студентам в навчанні. Припустимо, що внутрішній контур вводить в дію «покроковий аналізатор», який застосовується для інших послуг. Коли відповідь одержана, він перевіряє, скільки разів студент неправильно відповів на запитання і скільки разів неправильно використовував відповідні компоненти знань при виконанні поточного завдання і, відповідно, видає певну систематизовану інформацію.

У разі подання завдання модуль допомоги і підтримки після першого запуску покрокового аналізатора видасть мінімальну інформацію, наприклад, «правильна» або «неправильна» відповідь.

Після подання завдання вдруге покроковий аналізатор не тільки визначить, правильною або неправильною була відповідь студента, але й чому була дана неправильна відповідь. Таким чином, у разі правильної відповіді модуль допомоги і підтримки видасть мінімальну інформацію, а в

разі неправильної відповіді покроковому аналізатору потрібно зробити самостійний аналіз того, які компоненти знань були використані неправильно при виконанні поточного завдання, і видати уточнюючу підказку або інформацію про помилку. Наприклад, «Ви маєте звертати більше уваги на значення коефіцієнта передачі» або «Вид відмови, який ви вибрали, є неправильним», «Статичні характеристики даного виду відмови показано на рисунку, визначіть їх» і т.д.

У третьому і останньому разі застосування неправильної спроби або неправильного використання відповідного компонента знань модуль допомоги і підтримки видає уточнюючу інформацію про помилку, змушуючи студента вивчити відповідну теорію для того, щоб усунути недоліки щодо відповідних компонентів знань і уникнути їх повторення в подальшому. Повний комплекс уточнюючих підказок або інформації про помилку стосовно кожного компонента знань у предметній області наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Підказки і уточнююча інформація модуля допомоги і підтримки

Компоненти	Підказки, уточнююча інформація
K1	Зверніть увагу на значення коефіцієнта передачі
	Коефіцієнт передачі є неправильним. Вивчіть статичні характеристики ДК
K2, K3	Значення кутового положення мінімуму (максимуму) ДК є неправильним
	Значення кутового положення мінімуму (максимуму) ДК є неправильним. Вивчіть статичні характеристики ДК
K4, K5	Мінімальна (максимальна) вихідна напруга керування є неправильною
	Мінімальна (максимальна) вихідна напруга керування є неправильною. Вивчіть статичні характеристики ДК
K6	Зверніть увагу на значення коефіцієнта передачі
	Значення коефіцієнта передачі є неправильним. Вивчіть статичні характеристики ДКШ
K7,8	Мінімальне (максимальне) значення кутового положення ДКШ є неправильним
	Мінімальне (максимальне) значення кутового положення ДКШ є неправильним. Вивчіть статичні характеристики ДКШ
K9, K10	Мінімальна (максимальна) вихідна напруга ДКШ є неправильною
	Мінімальна (максимальна) вихідна напруга ДКШ є неправильною. Вивчіть статичні характеристики ДКШ
K11, K13, K17	Клас відмови, який вибрано, є неправильним. Статичні характеристики цієї відмови показано на рис. 2.3, визначіть клас відмови
	Клас відмови, який вибрано, є неправильним. Вивчіть статичні характеристики даного класу відмов
K12, K14, K15, K16, K18-K22	Вид відмови, який вибрано, є неправильним. Статичні характеристики цієї відмови показано на рис. 2.3, визначіть клас відмови
	Вид відмови, який вибрано є неправильним. Вивчіть статичні характеристики даного виду відмов

Компоненти	Підказки, уточнююча інформація
K23	Ваша відповідь є неправильною. Перевірте, чи використовували ви правильне рівняння і коефіцієнт передачі для ДК
	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте рівняння математичної моделі
K24, K29	Ваша відповідь є неправильною. Перевірте, чи використовували ви правильне рівняння і коефіцієнт передачі для ДКШ
	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте рівняння математичної моделі
K25	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте уважніше завдання для того, щоб знайти правильну відповідь
	Ваша відповідь є неправильною. Вивчіть умови визначення місця відмови
K26, K27	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте уважніше завдання, стан індикаторів для того, щоб знайти правильну відповідь
	Ваша відповідь є неправильною. Вивчіть умови визначення місця відмови
K28	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте уважніше завдання, стан S індикаторів для того, щоб знайти правильну відповідь
	Ваша відповідь є неправильною. Розгляньте рівняння математичної моделі

Педагогічна модель модуля допомоги і підтримки надає підказки або інформацію відповідно до процедур, розглянутих раніше, тобто подає правильну інформацію тільки після того, як студент дасть свою відповідь.

Загальну блок-схему адаптивного алгоритму для педагогічного модуля показано в додатку 2.

Басове виведення

Басове оцінювання часто використовується внутрішнім контуром для визначення ступеня оволодіння знаннями студентом і інших постійних характерних рис студента [35]. Послугу оцінювання застосовано з інших видів уже розглянутих послуг, однак її використання тісно переплітається між ними і зовнішнім контуром. Ця послуга аналізує і оцінює знання і навички студента в предметній області.

Сервіс оцінювання розроблено таким чином, що викладачі, студенти і сама навчальна система можуть користуватися ним. Наприклад, викладачі можуть використовувати цей сервіс для виявлення відстаючих студентів, яких виділяє для них навчальна система на початку семестру, тому вони можуть приділяти таким студентам більше уваги. Студенти можуть здійснювати самоконтроль, керуючи власним навчанням. Навчальній системі також потрібна ця інформація для прийняття рішень і вибору педагогічних дій.

Викладач вирішує неформалізовані питання, що стосуються оцінювання студентів. Адаптивна педагогічна модель, впроваджена в ІКНП, ставить завдання, в яких наведено вправи щодо кількох незасвоєних компонентів знань і, таким чином, вона надає можливість оволодіти кожним з відповідних компонентів знань у процесі вирішення поданого завдання.

Для визначення неправильних кроків, неправильного застосування компонентів знань і навчальних заходів, іншими словами, для атестації студентів ІКНП застосовує баєсові мережі (БМ) для оцінювання компонентів знань студентів. Таким чином, процес атестації містить перерахунок ймовірностей оволодіння компонентами знань на основі відповідей студентів, які отримані з їх покрокових спроб.

Приклад базової структури БМ, яка застосовується в ІКНП, показано на рис. 4.14. Вона складається з вузлів і спрямованих зв'язків, де вузли є змінними, а зв'язки являють собою умовні залежності між ними. Пропонується використовувати вузли для оволодіння компонентами знань, наведених у табл. 4.5.

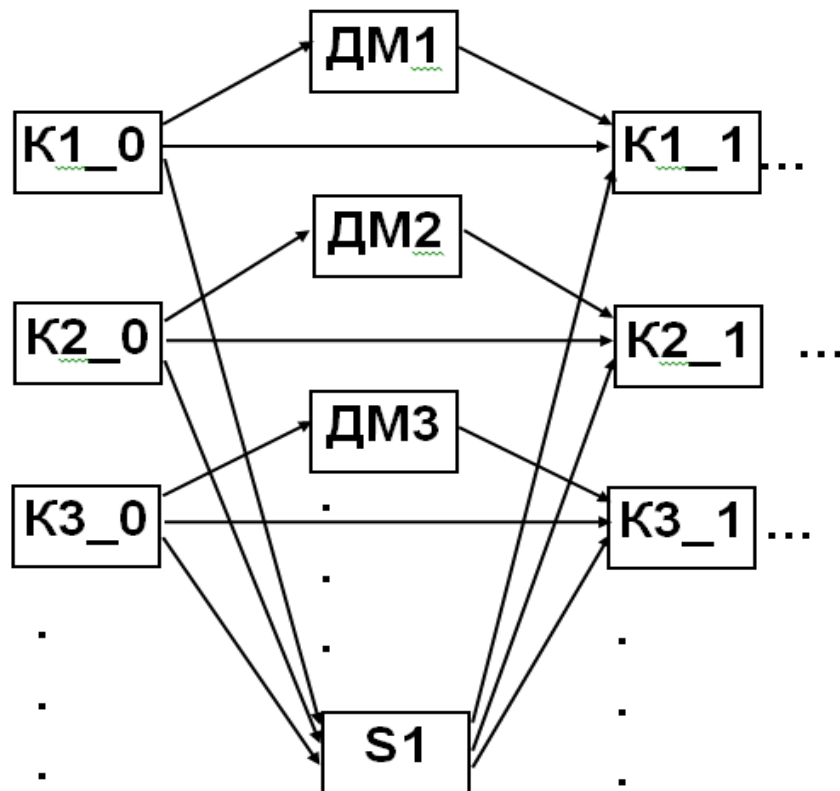


Рис. 4.14. Загальна структура БМ в ІКНП

Припустимо, що кожен вузол має два значення: освоєне і неосвоєне. Нехай $P(K_i_n)$ означає ймовірність оволодіння компонентом знань одразу після кроку S_n . Нехай K_i_0 означає апіорну ймовірність оволодіння компонентом знань до виконання будь-якого кроку, а K_i_1 – ймовірність оволодіння компонентом після виконання першого кроку.

Припустимо, що вузли $ДМ_i$ – діагностичні моделі, які є потрібними для моніторингу апостеріорних ймовірностей і впливу на них за кожним відповідним компонентом знань після виконання кроку S_n . $ДМ_i$, у свою чергу, впливають на апостеріорні ймовірності оволодіння кожним компонентом знань.

Такий підхід передбачає, що кожен крок або завдання залежить від індивідуальних компонентів знань. Іншими словами, набір відповідних компонентів знань, що належать кроку, є індивідуальними когнітивними процесами, які в момент виконання завдання можуть бути застосовані незалежно один від одного, тому їх апостеріорну ймовірність слід оцінити окремо. Наприклад, коли крок є неправильним і залежить більш ніж від одного компонента знань, існує ймовірність того, що деякі компоненти знань можуть бути застосовані правильно, а інші – неправильно. Отже, покроковий аналізатор зможе оцінити кожен відповідний компонент знань у кроці, визначити відповідні дії шляхом активізації відповідного ДМі компонентів знань, застосованих неправильно, які знижують ймовірності оволодіння порівняно з тими, що були застосовані правильно. Експериментальні результати за таким методом були отримані за допомогою GeNle © (рис. 4.15).

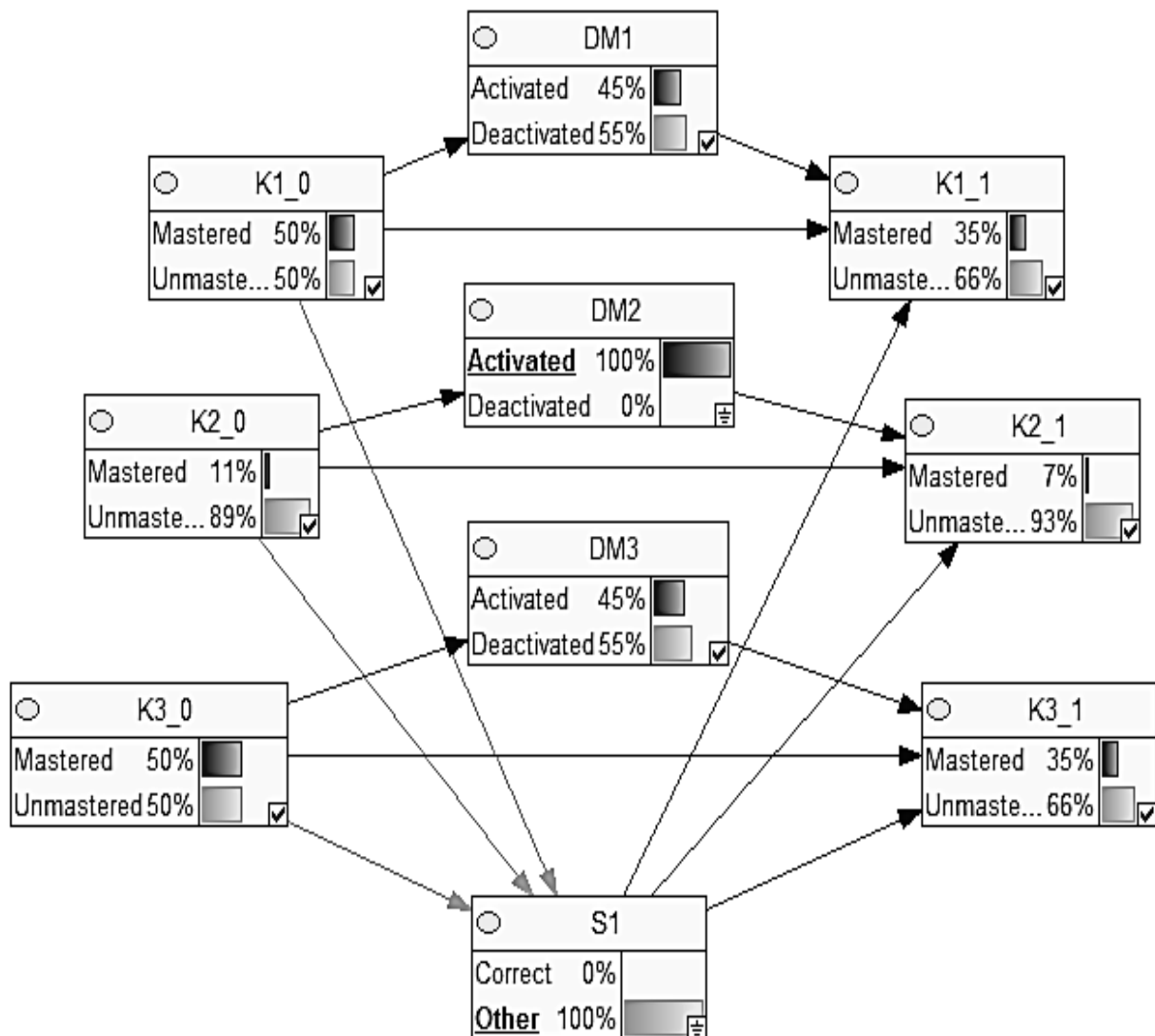


Рис. 4.15. Модель БМ при неправильній відповіді і активізованій діагностичній моделі

На рис. 4.15 показано, що покроковий аналізатор зробив неправильний крок і визначив, що компонент знань K2 було неправильно застосовано або не застосовано зовсім, і активував свій ДМ2, і як результат, вірогідність оволодіння цим компонентом знань зменшилася порівняно з двома іншими компонентами знань, які були використані правильно. Повний комплекс БМ із відповідними завданнями наведено в додатку 3.

Модуль користувацького інтерфейсу

Студенти взаємодіють з ІКНП через користувацький інтерфейс. Таку взаємодію поділено на два підмодулі: модуль входу, який відображає дії студента, і модуль виходу, який відображає необхідні дії, які мають бути виконані (завдання, проблеми), такі педагогічні поради, як підказки, уточнююча інформація, конспекти лекцій, оцінки і статистичні дані. Головним завданням модуля входу є отримання інформації, яка буде зберігатися і використовуватися для поновлення БМ на основі нових фактів або дій студента.

Перше вікно, коли студент запускає модуль ІКНП, показано на рис. 4.16.

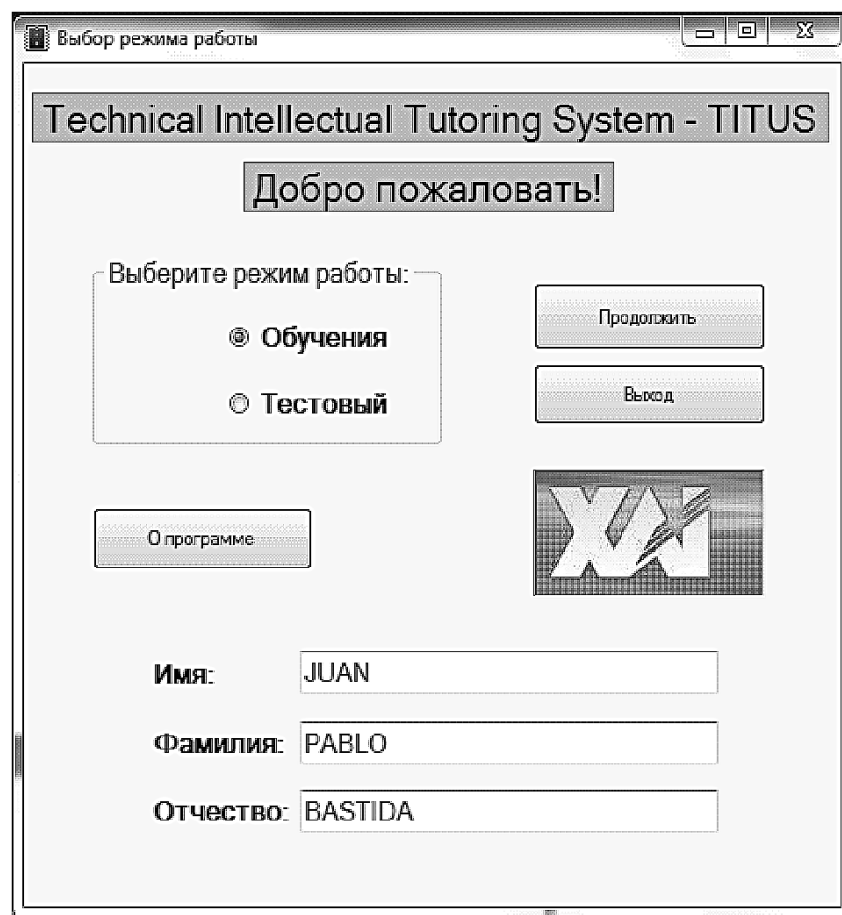


Рис. 4.16. Вікно вітання модуля ІКНП

У цьому вікні потрібно вибрати метод, який буде використовувати студент як режим роботи (навчання або тестовий). Крім цього, студентам необхідно ввести повністю своє ім'я, прізвище та по батькові для того, щоб продовжити роботу за вибраним методом.

Тільки після того, як студент ввів своє ім'я, з'явиться можливість продовжувати процес, виникне вікно підтвердження, що ім'я нового студента додано в базу даних, якщо студент використовує систему вперше, або з'явиться запрошення, якщо система визначить, що студент вже користувався навчальною програмою.

Як тільки студент увійде в навчальну програму, буде подано завдання відповідно до модуля. Звичайне зображення задачі в інтерфейсі користувача показано на рис. 4.17.

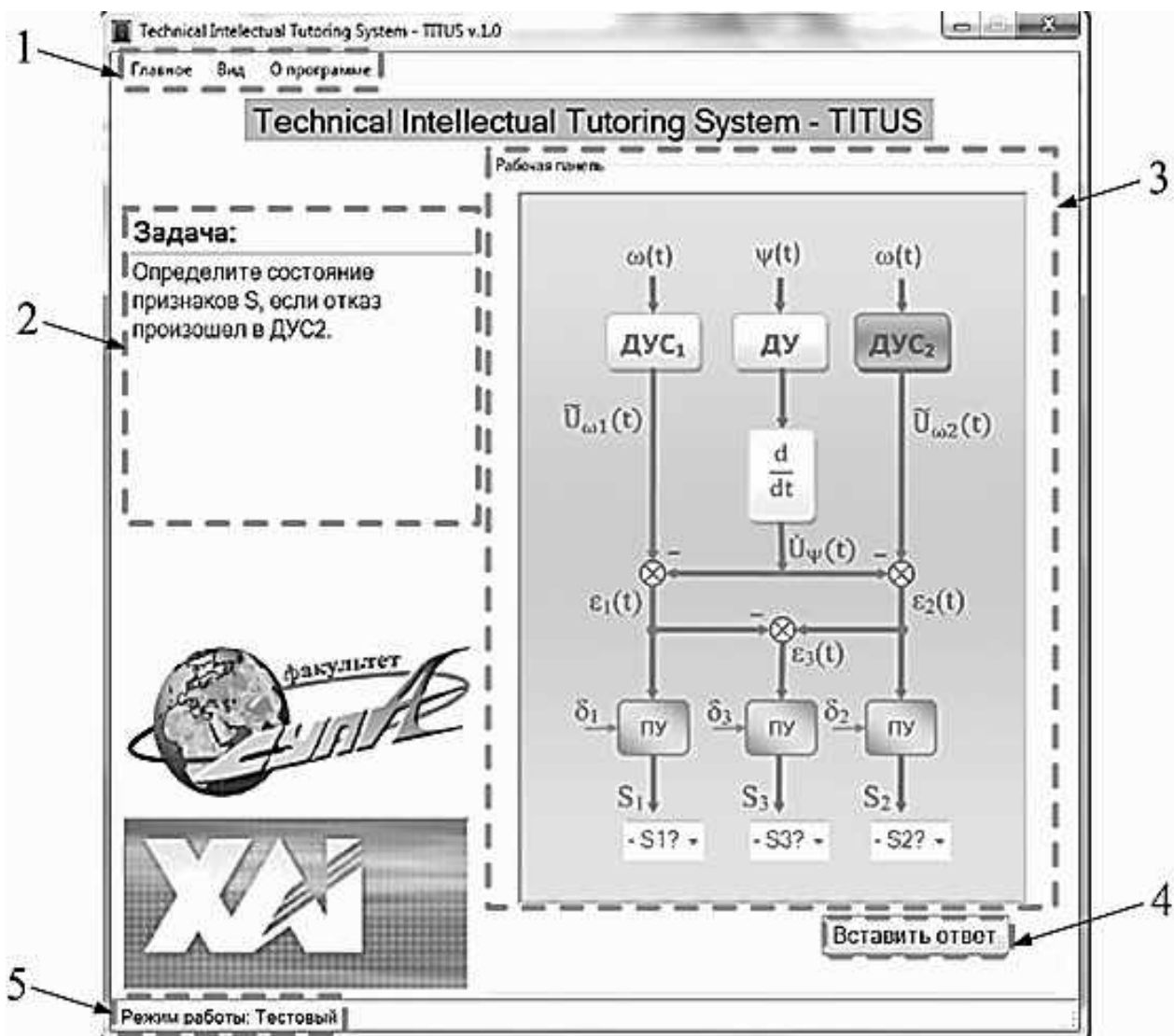


Рис. 4.17. Звичайне зображення завдання в ІКНП: 1 – панель меню; 2 – завдання для вирішення або пояснення проблеми; 3 – робоча панель; 4 – кнопка підтвердження відповіді; 5 – рядок стану

ІКНП містить інструмент для оцінювання ступеня оволодіння кожним відповідним компонентом знань окремо в кожному завданні. Ця функція позначена пунктиром на рис. 4.18.

Рис. 4.18. Інструмент для моніторингу ступеня оволодіння кожним компонентом знань у кожному завданні

У модулі ІКНП міститься три меню в головному вікні («Головне», «Вид» і «Допомога»). «Головне» меню показано на рис. 4.19, в ньому міститься три підменю; їх функції наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Підменю в «Головному» меню

Пункт меню	Опис
Режим роботи	Це меню дозволить студентам перемикаати за необхідності режими тестування і навчання в будь-який момент часу
Зберегти дані в файлі	Ця команда збереже всю інформацію про поточний стан студента у відповідному файлі
Вихід	Вихід з програми

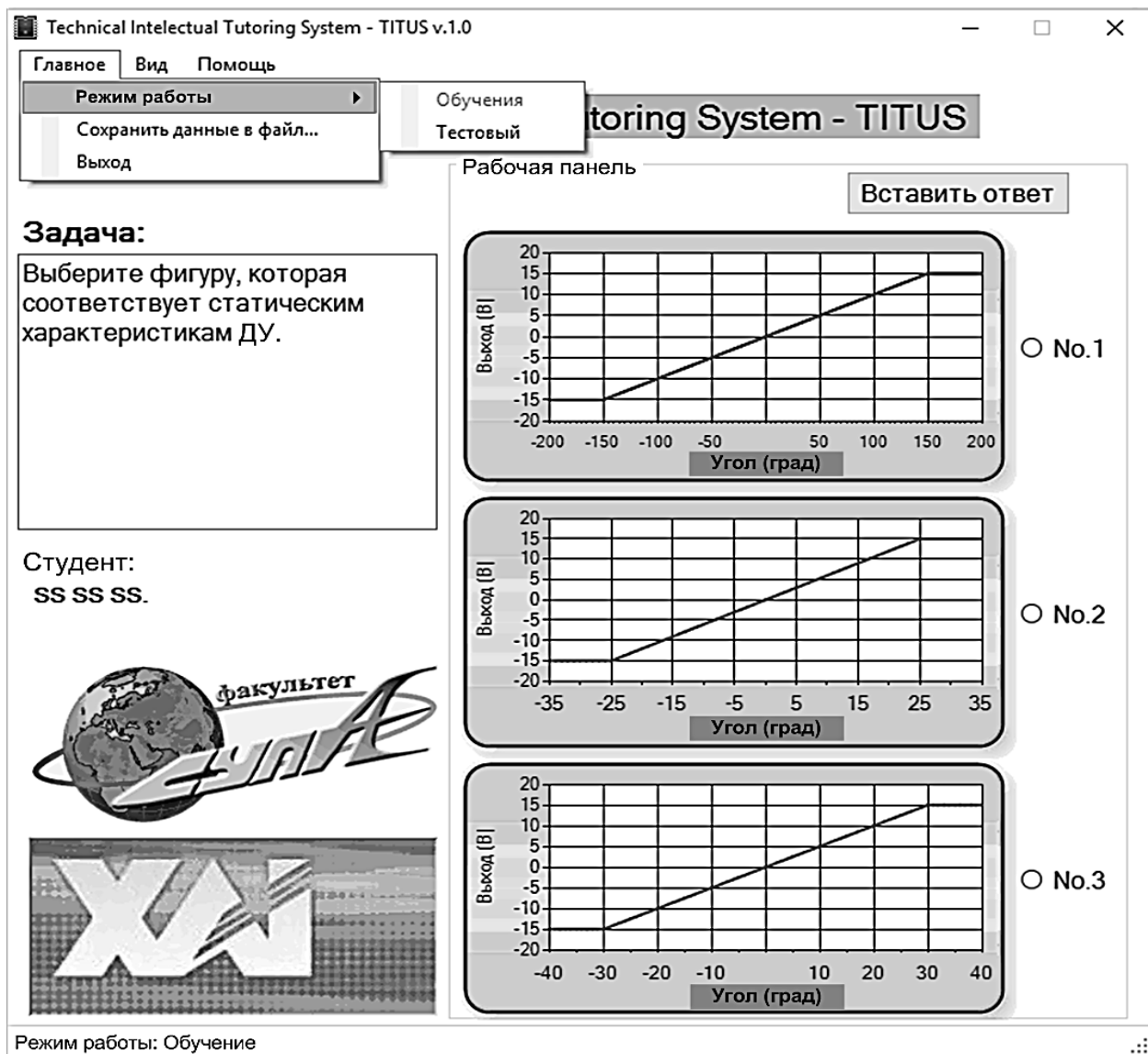


Рис. 4.19. «Головне» меню і його підменю

Друге головне меню «Вид» містить три підменю (рис. 4.20, табл.4.10).

Таблиця 4.10

Опис підменю в меню «Вид»

Пункт меню	Опис
Статистичні дані	Це підменю відкриває вікно статистичних даних
Значення компонентів	Ця команда активує панель для моніторингу ступеня оволодіння поточним компонентом знання (див. рис. 4.20)
Відкрити дані з файла	Ця команда відкриває діалогове вікно, яке дає можливість відкривати деякі файли з даними студента для аналізу його статистичних даних у вікні, як показано на рис. 4.23

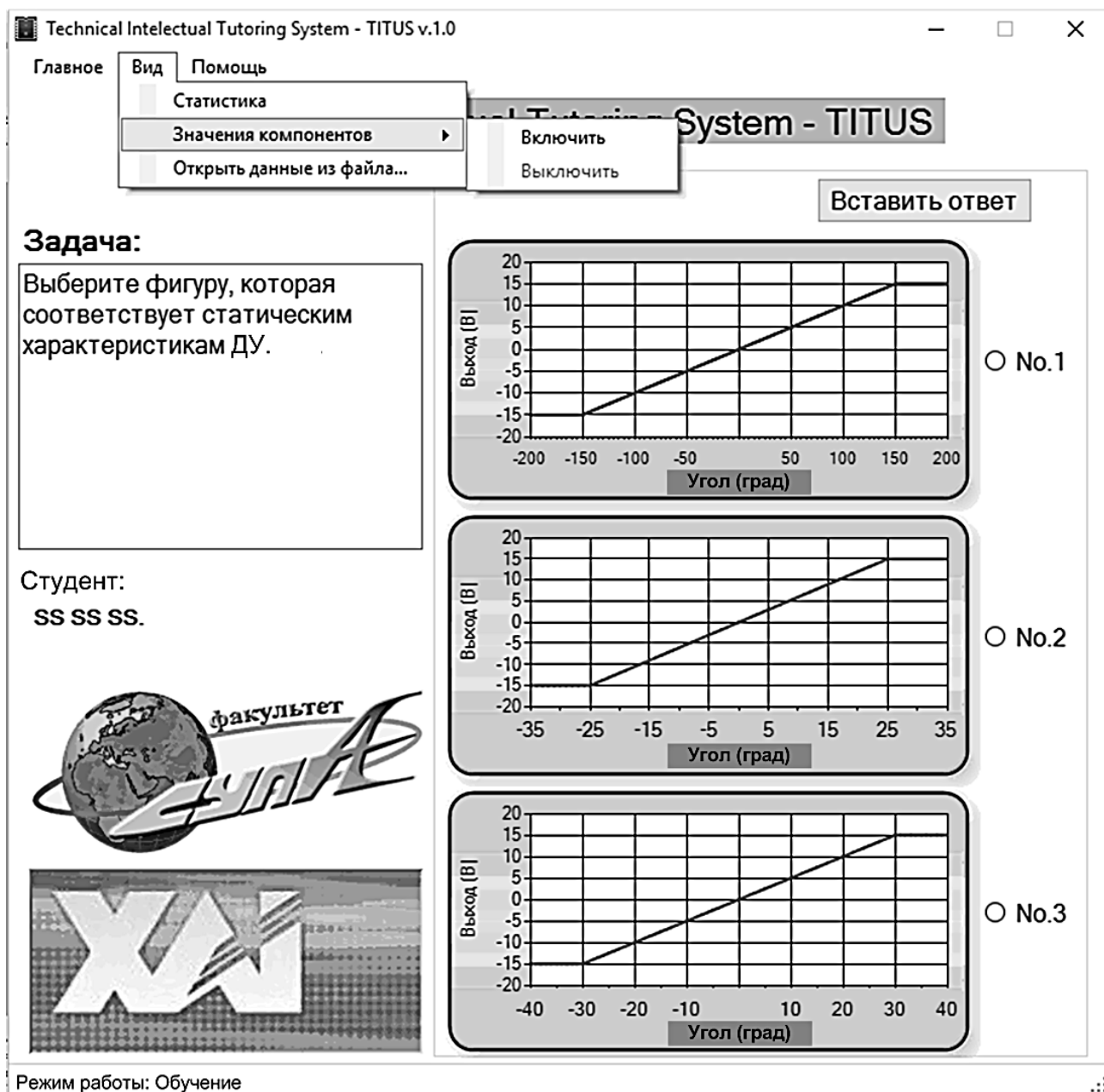


Рис. 4.20. Меню «Вид» і його підменю

Важливою функцією ІКНП є можливість перегляду різного роду інформації про успішність студента в числовому або графічному вигляді за допомогою підменю «Статистика» в меню «Вид».

На рис. 4.21 показано вікно статистичних даних, а на рис. 4.22 і рис. 4.23 – компоненти цього вікна.

Шляхом вибору засобів керування (в квадраті), як зображено на рис. 4.24, коли спроби виконання кожного завдання вибирають з вікна складових (рис. 4.23), на нижній діаграмі буде показано порівняння між загальною кількістю спроб і спробами з неправильними відповідями при виконанні кожного завдання (див. рис. 4.24). Спроби з неправильними відповідями наведено у верхній частині кожного рядка діаграми.

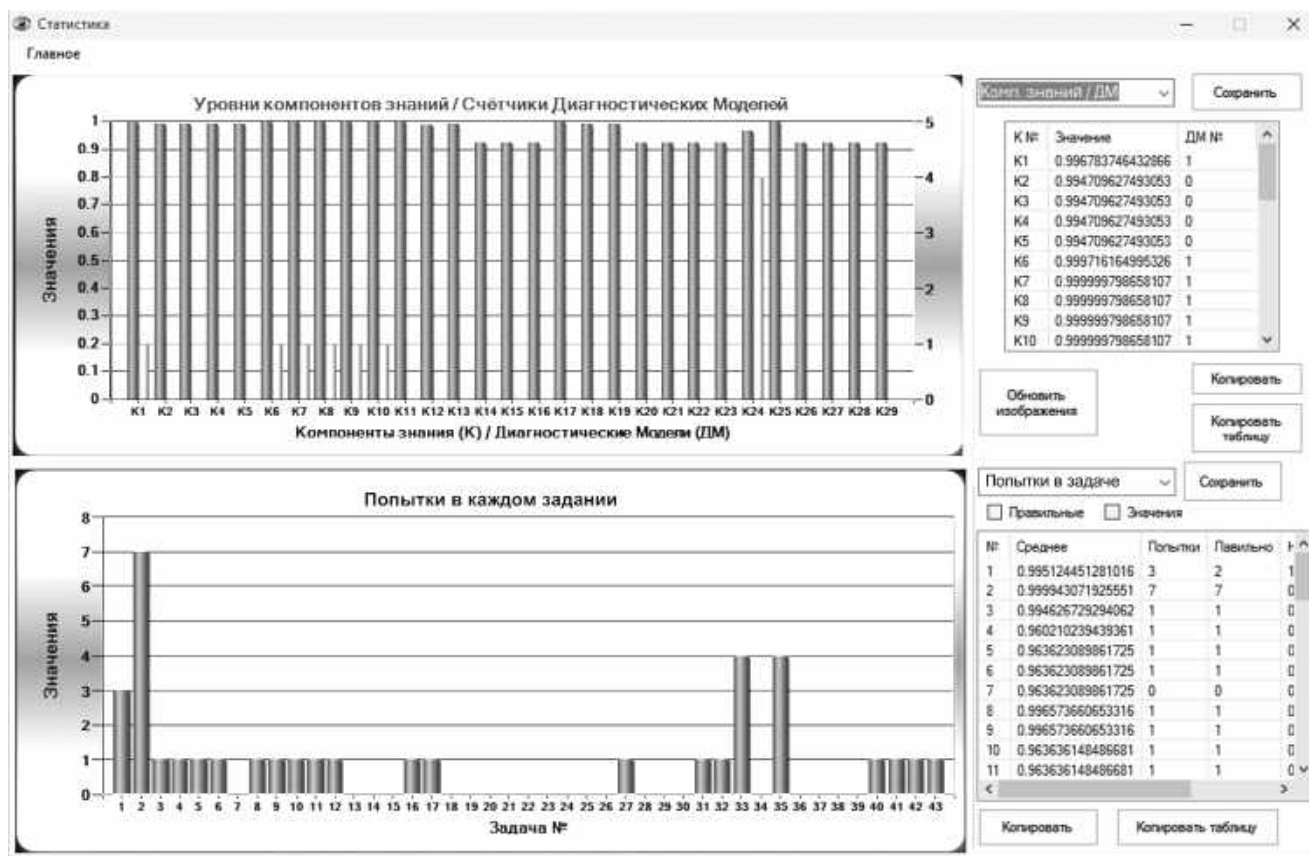


Рис. 4.21. Вікно статистичних даних

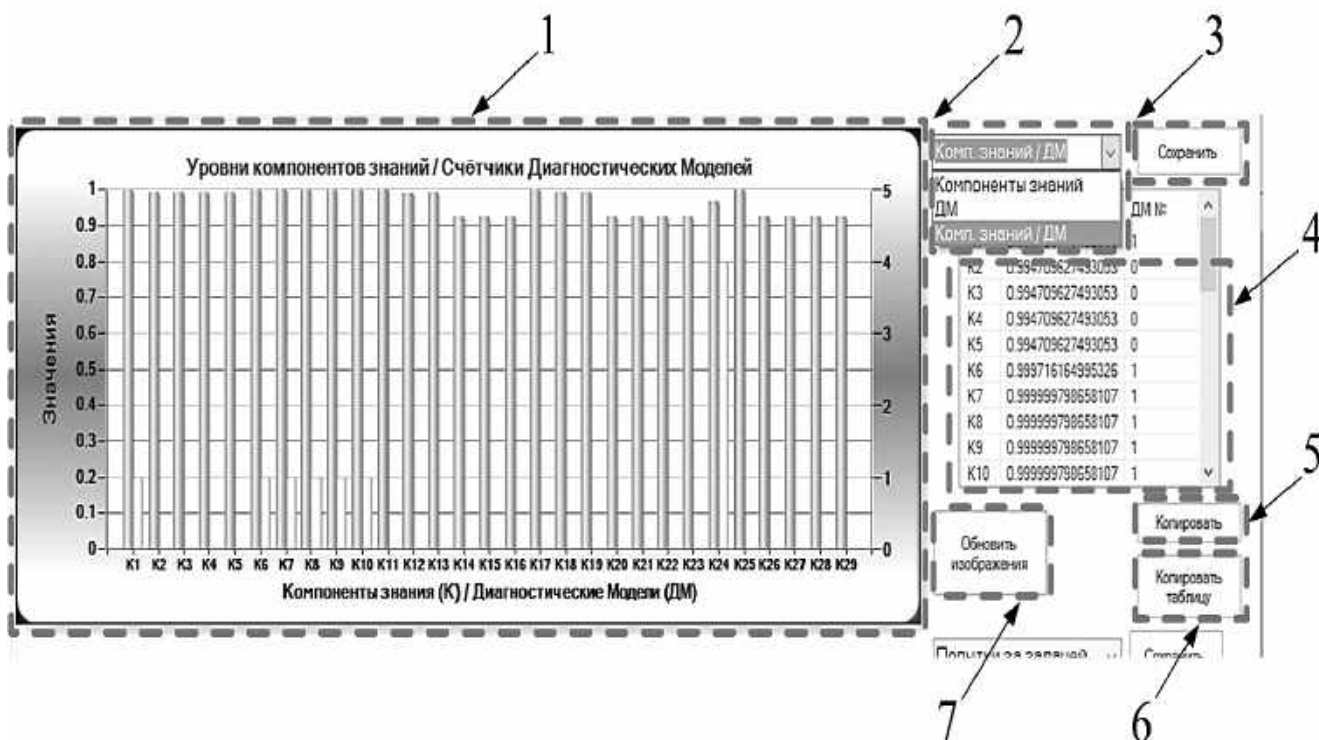


Рис. 4.22. Вікно статистичних даних (верхня частина вікна):
 1 – панель верхньої діаграми; 2 – вікно складових панелі верхньої
 діаграми; 3,5,6,7 – командні кнопки; 4 – таблиця даних

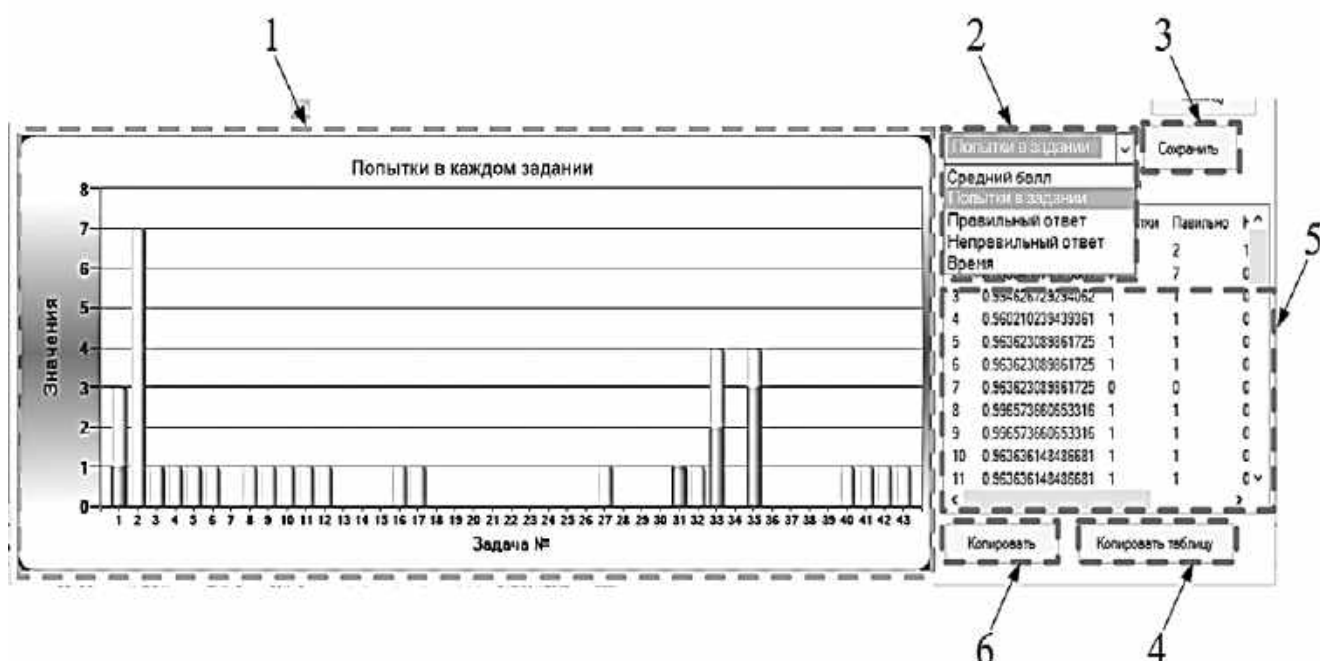


Рис. 4.23. Вікно статистичних даних (нижня частина вікна):
1 – панель нижньої діаграми; 2 – вікно складових панелі нижньої діаграми;
3,4,6 – командні кнопки; 5 – таблиця даних

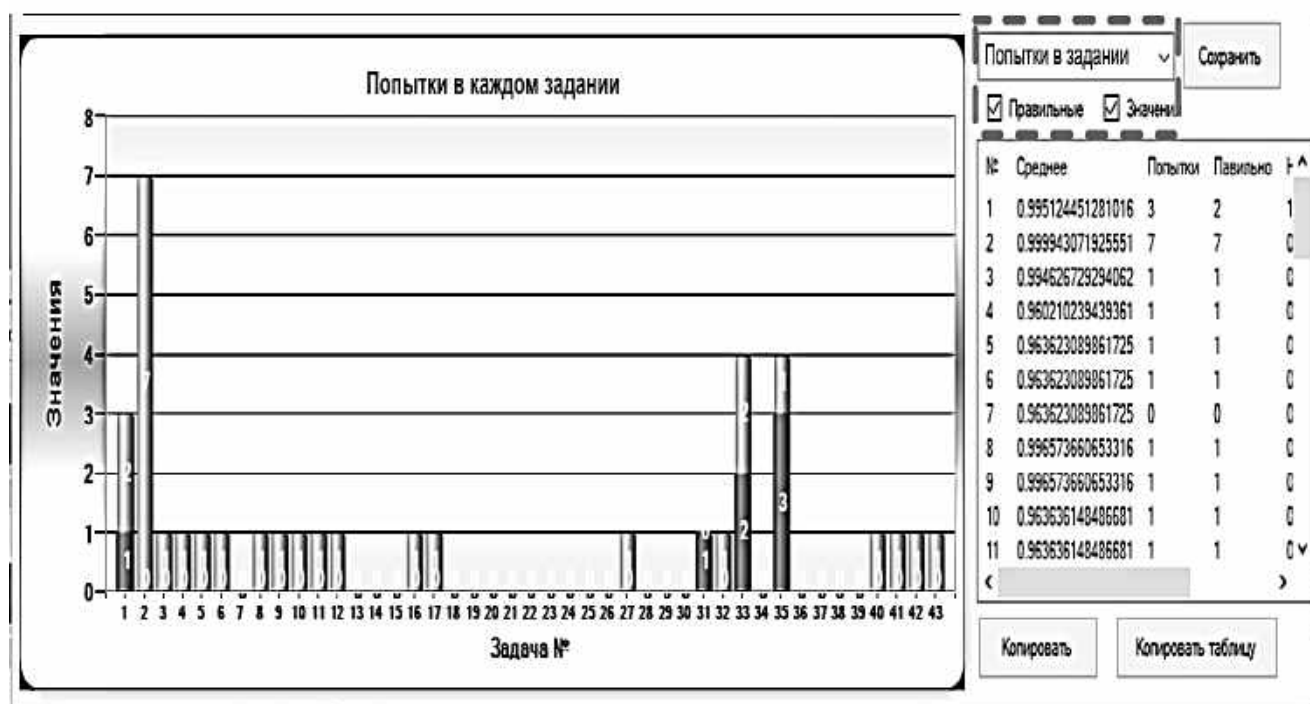


Рис. 4.24. Порівняння між загальною кількістю спроб і спробами з неправильними відповідями при виконанні кожного завдання

Останнім меню в графічному інтерфейсі є «Допомога», це меню містить два підменю, як показано на рис. 4.25. Пояснення за даними підменю наведено в таблиці 4.14.

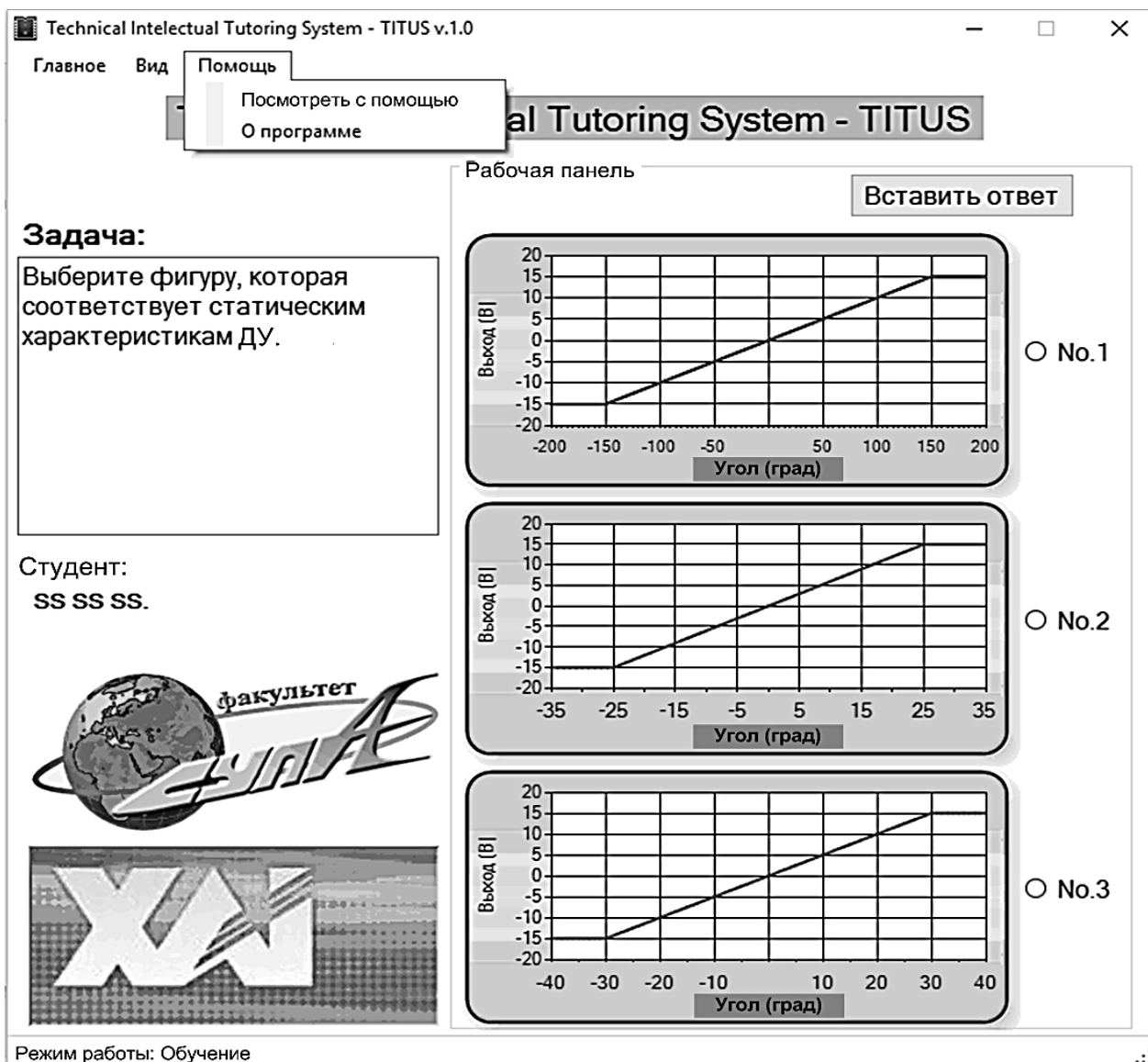


Рис. 4.25. Підменю в меню «Допомога»

Таблица. 4.14

Опис підменю в меню «Допомога»

Пункт меню	Опис
Скористатися допомогою	Це підменю відкриє вікно допомоги (рис. 4.26), в якому наведено повну узагальнену інформацію щодо предметної області
Про програму	Це підменю відкриє вікно з даними про ІКНП (рис. 4.27)

Вікно допомоги (рис. 4.26) містить всю необхідну теоретичну інформацію, яка є в навчальному плані навчальної системи. Таку інформацію було використано з роботи [25] і узагальнено для кращого розуміння як допоміжний матеріал для студентів.

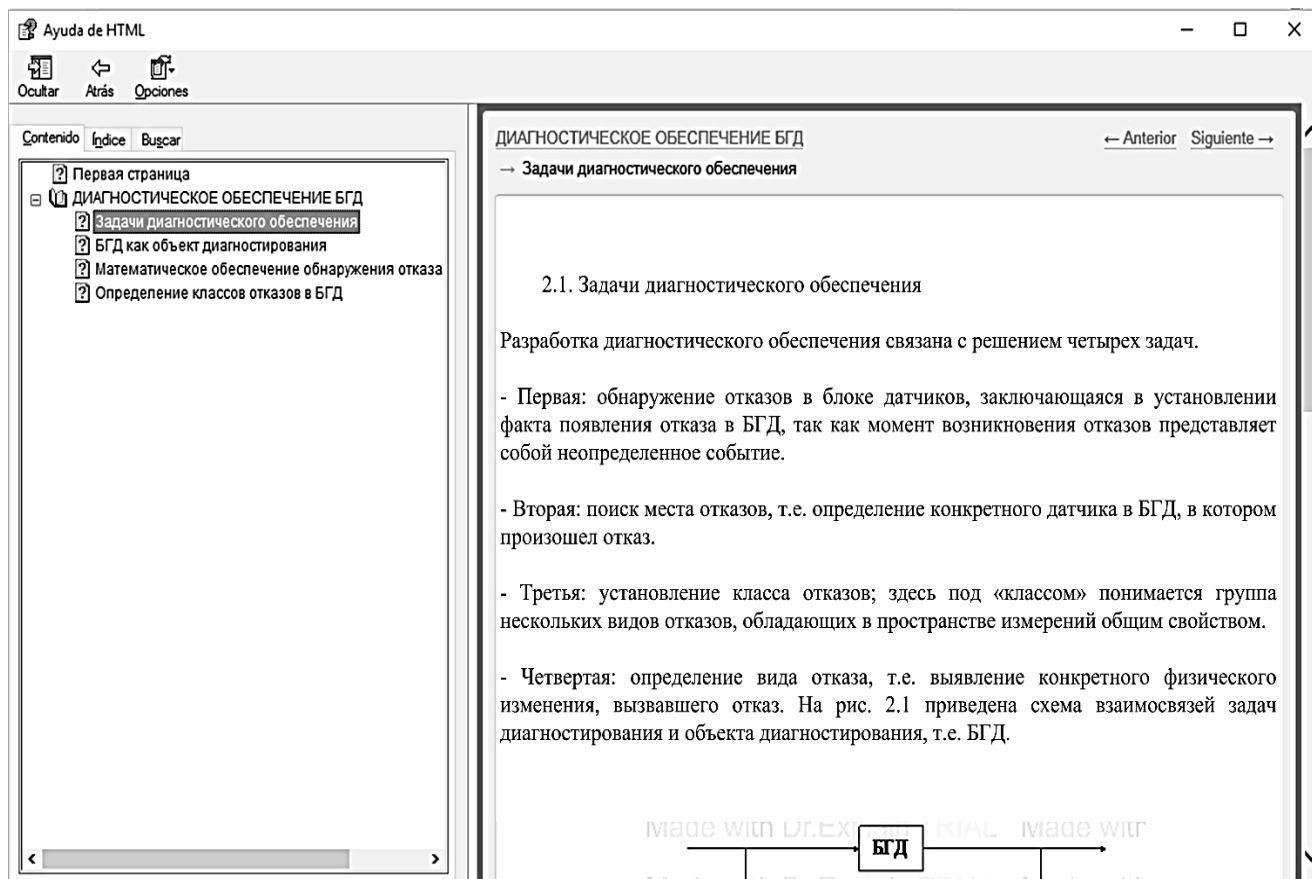


Рис. 4.26. Вікно допомоги

Нарешті в останньому підменю «Про програму» з'явиться невелике вікно з інформацією про версію ІКНП і її створювачів. Це вікно показано на рис. 4.27.

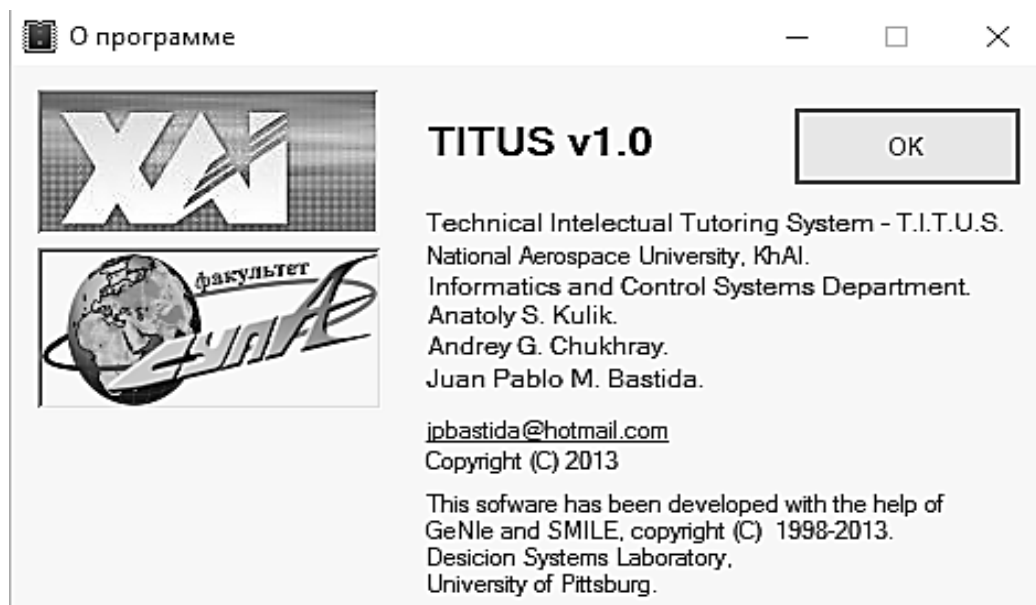


Рис. 4.27. Вікно з інформацією про програму

Приклад завдання 1 в ІКНП показано на рис. 4.28.

Technical Intellectual Tutoring System - TITUS v.1.0

Главное Вид Помощь

Technical Intellectual Tutoring System - TITUS

Задача:

Опишите статические характеристики ДУ.

Студент:
JUAN PABLO BASTIDA.

факультет
ХИП

ХИ

Рабочая панель

Коэффициент передачи ДУ: В/град.

Минимальный угол ДУ: град.

Максимальный угол ДУ: град.

Минимальное выходное напряжение ДУ: В.

Максимальное выходное напряжение ДУ: В.

Вставить ответ

Режим работы: Обучение

Рис. 4.28 – Приклад завдання 1 в ІКНП

У цьому завданні студентів необхідно ввести відповідні значення статичних характеристик ДУ; студент у результаті виконання завдання навчається відтворювати відповідні компоненти знань – K_1 , K_2 , K_3 , K_4 і K_5 .

Рівень складності завдання 1 дорівнює 2, якщо студент дасть неправильну відповідь, то ІКНП знизить складність. Залежно від успішності студента, а також від рівня оволодіння іншими відповідними компонентами знань в модулі система може вивести на екран завдання, показане на рис. 4.29.

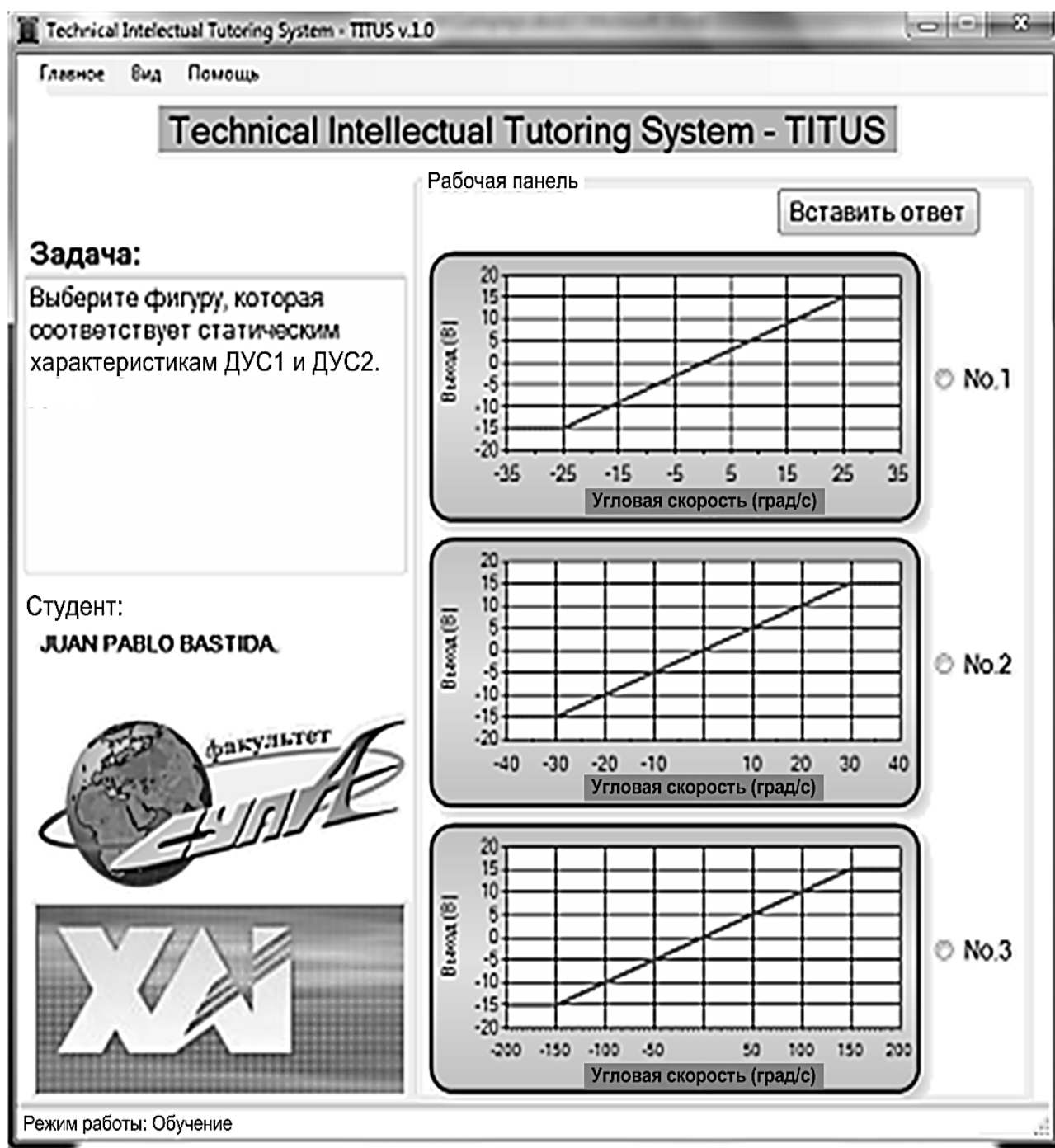


Рис. 4.29 – Приклад завдання 31 в ІКНП

Це завдання належить до розділу з найнижчим рівнем складності в першому модулі. Із завдання 31 студентів необхідно вибрати статичні характеристики ДУС₁ і ДУС₂.

У результаті виконання цього завдання студент опановує компоненти знань К6, К7, К8, К9, К10. Цей приклад являє собою можливу ситуацію поведінки ІКНП залежно від дій студента.

Практичне застосування ІКНП у реальному навчальному процесі показано на рис. 4.30.

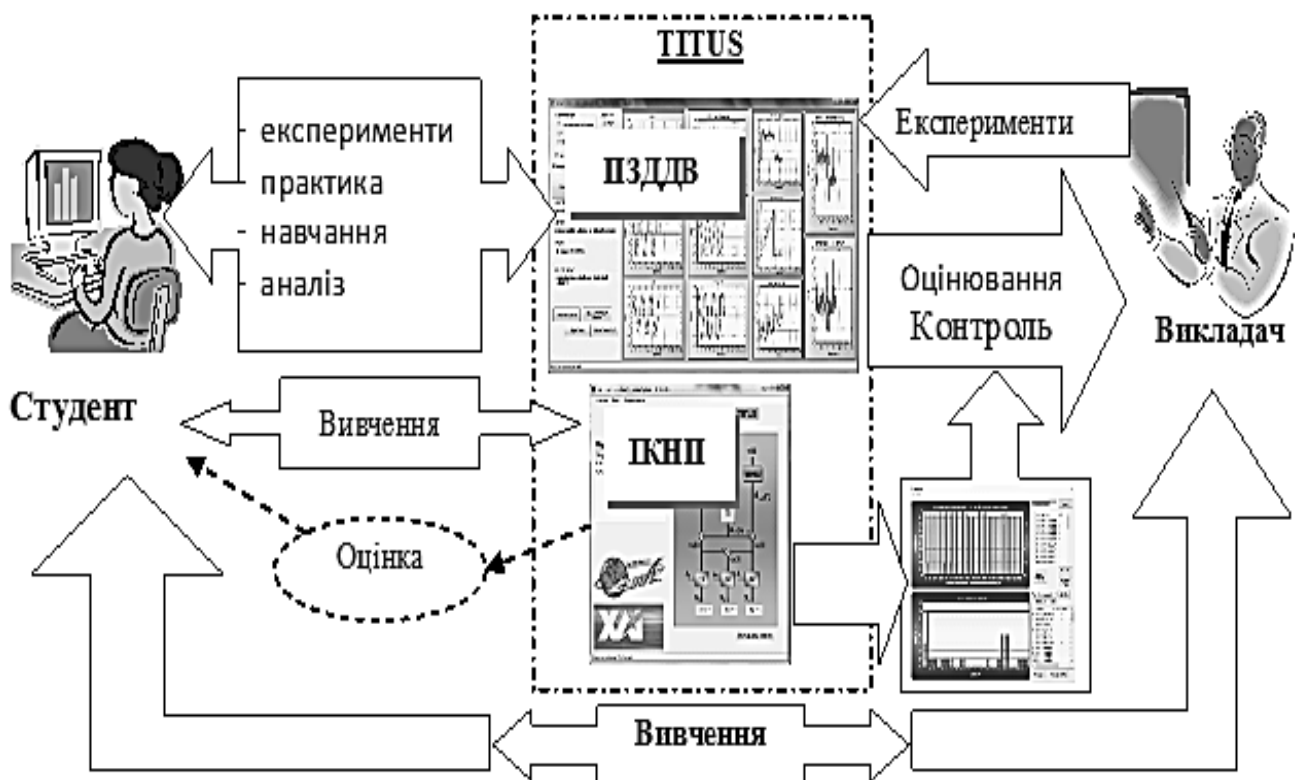


Рис. 4.30. Практичне застосування навчального процесу в ІКНП

Студент може проводити експерименти, що описані в плані практики або надані викладачем, може аналізувати, вивчати і розуміти методи відмовостійкого процесу і діагностики. ІКНП може використовуватися викладачем для оцінювання та контролю знань студента і його успішності.

4.4. Експериментальні результати тестування TITUS

Для перевірки працездатності й ефективності TITUS було проведено кілька експериментів. У цьому підрозділі наведено експериментальні результати як стосовно програмного забезпечення з діагностики та вивчення відмов (перший модуль), так і інтелектуальної навчальної системи (другий модуль).

4.4.1. Експериментальні результати щодо програмного забезпечення з діагностики та дослідження відмов

Експериментальні результати щодо ПЗДДВ або першого модуля в TITUS були отримані за допомогою перевірки ефективності відмовостійкого алгоритму БГД.

У ході експериментів імітовано кілька видів відмов під час спостереження за роботою системи в реальному часі. Їх результати показано на рис. 4.31 – 4.40.

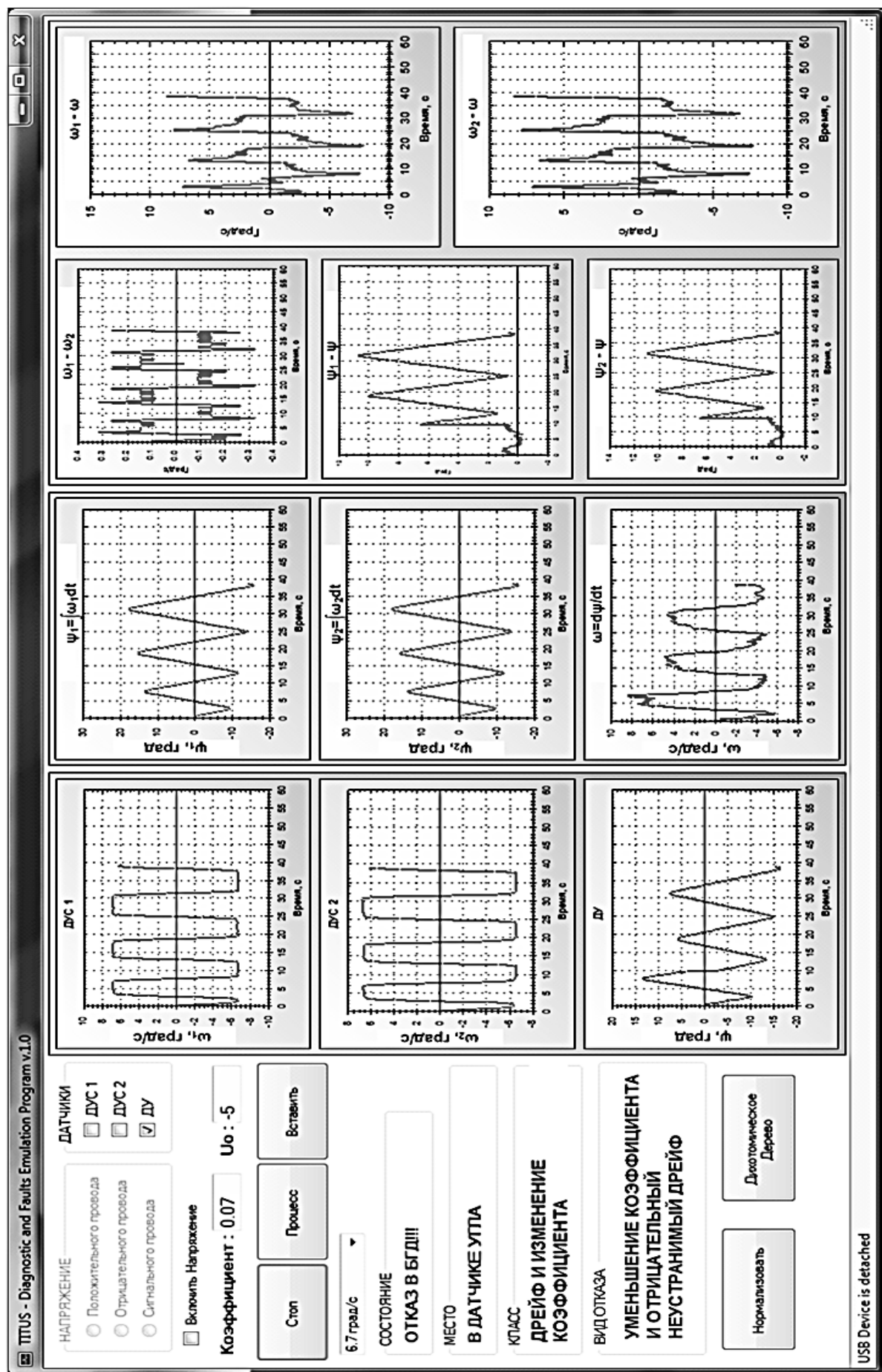


Рис. 4.31. Непереборні зменшення коефіцієнта передачі датчика і негативний неусуворний дрейф нуля в ДК

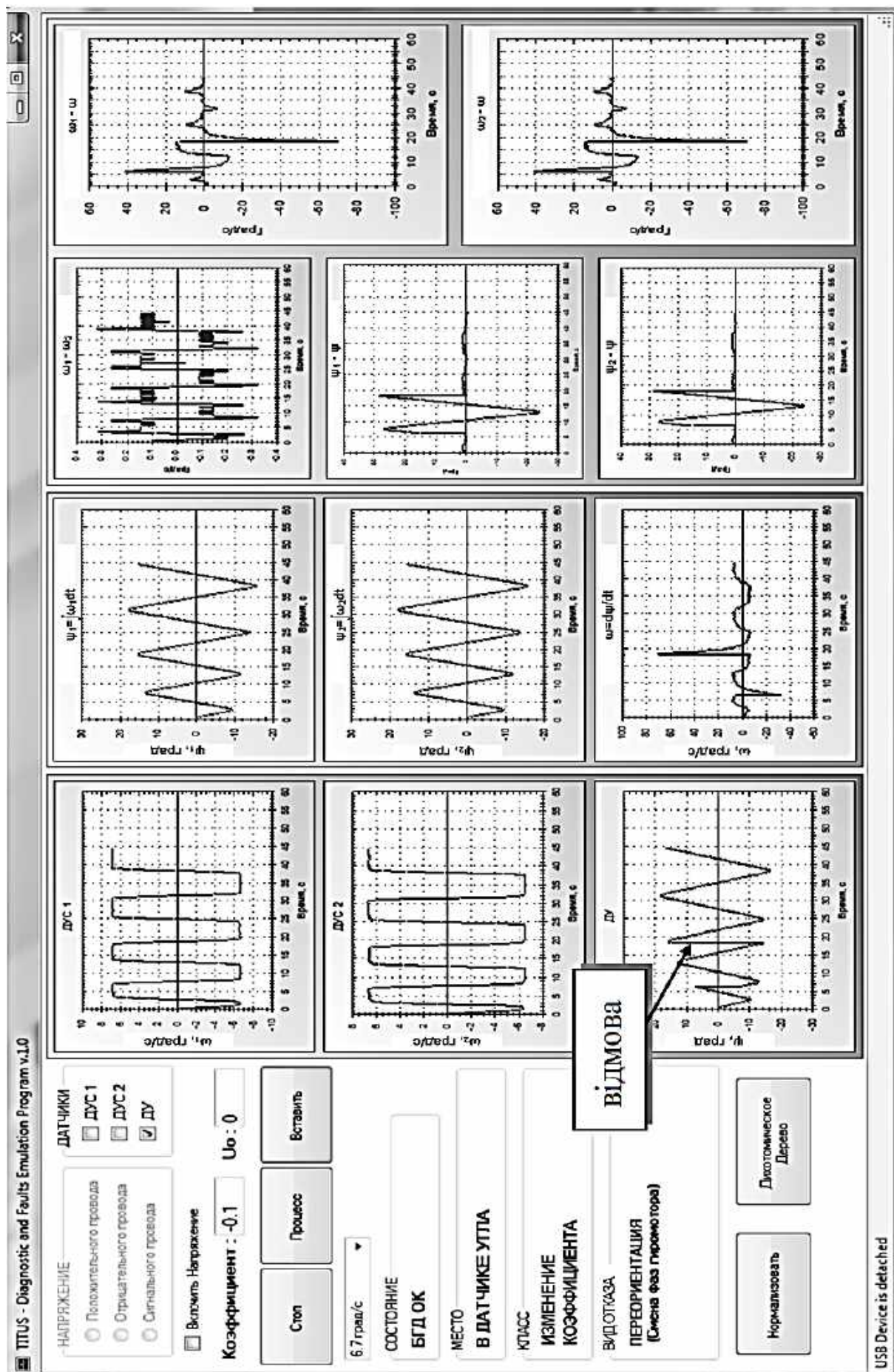


Рис. 4.32. Переорієнтація ДК

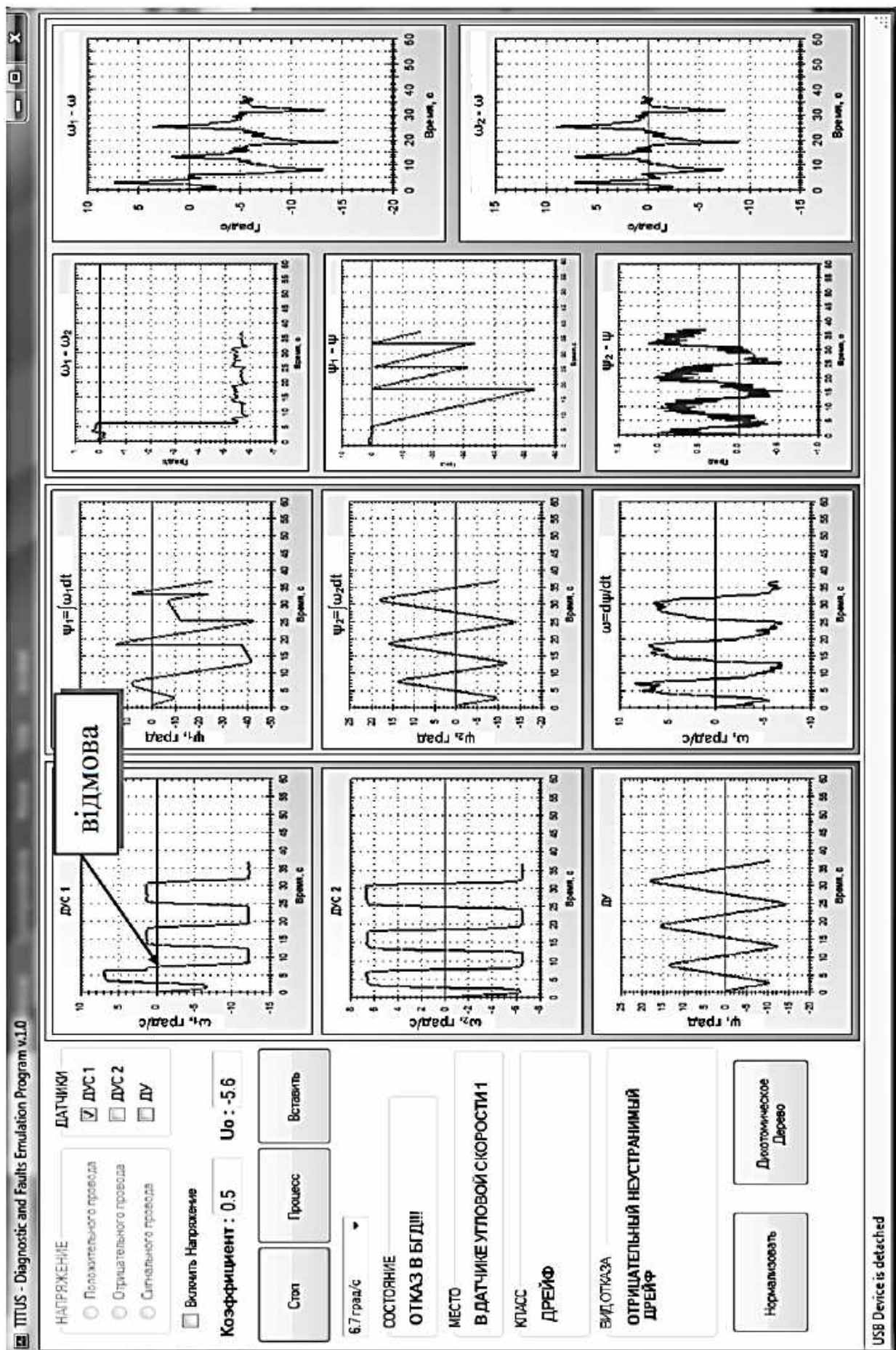


Рис. 4.33. Негативный неустойчивый дрейф нуля в ДКШ₁

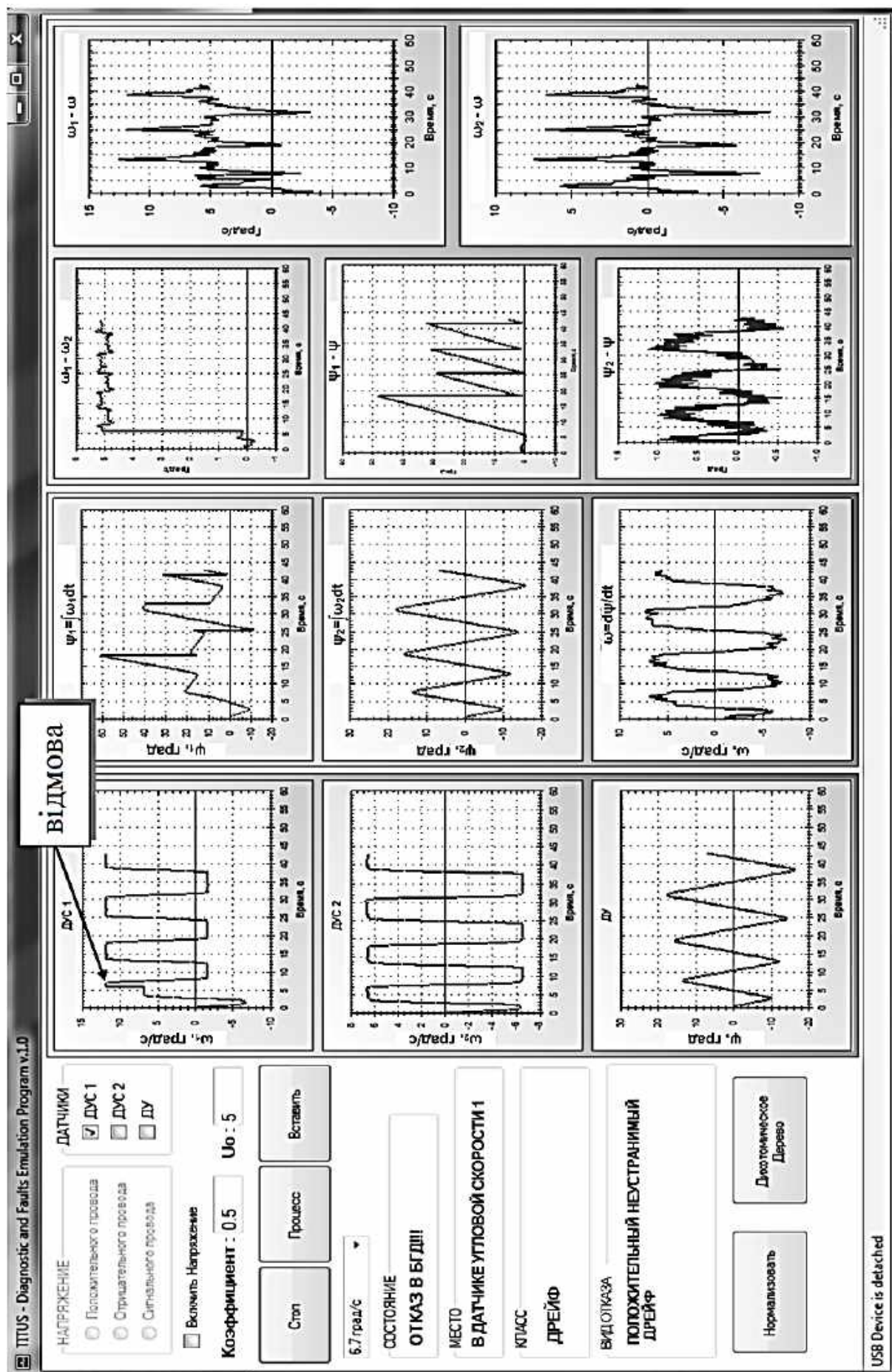


Рис. 4.34. Позитивный неустойчивый дрейф нуля в ДКШ1

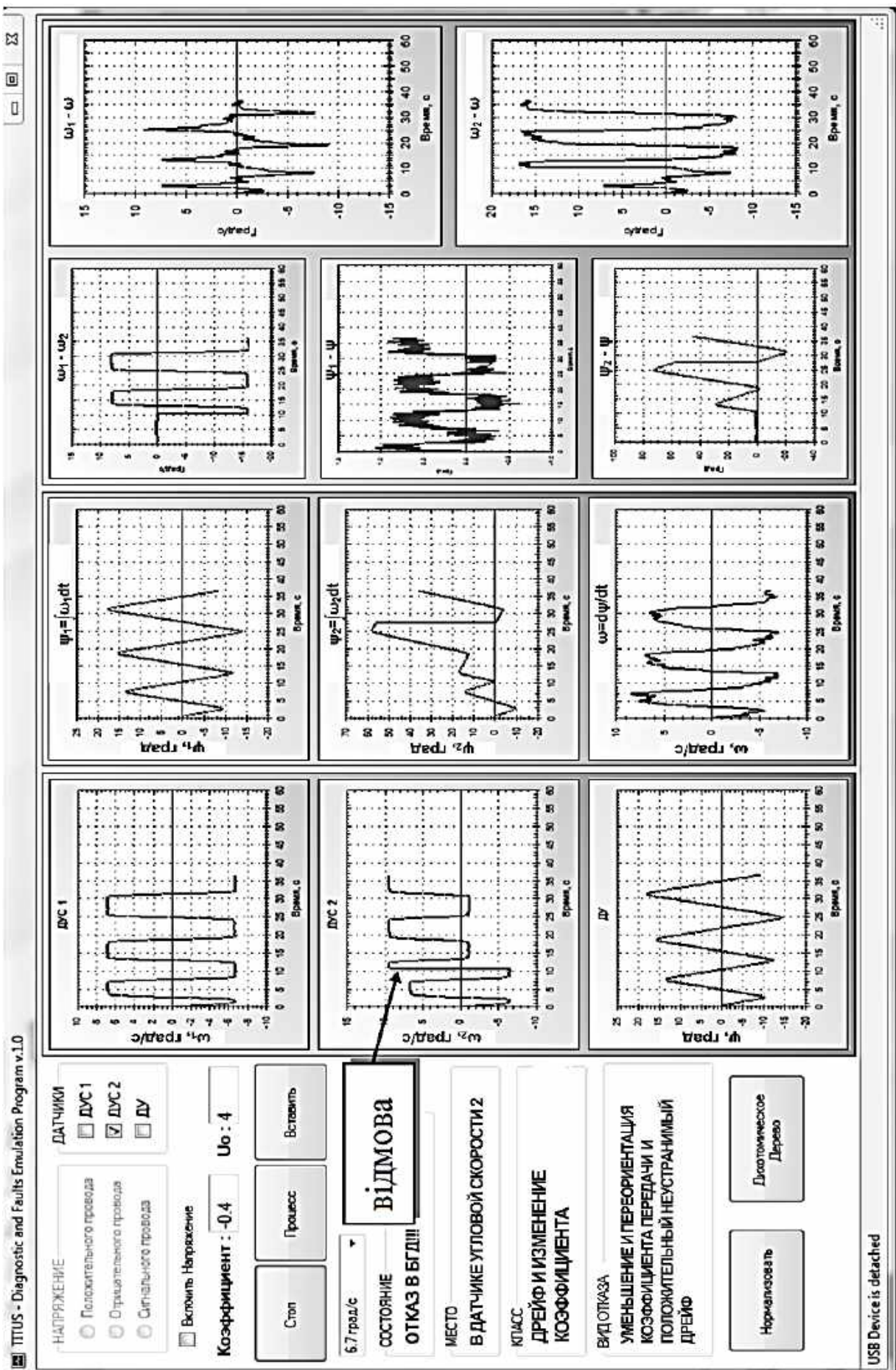


Рис. 4.35. Зменшення коефіцієнта передачі і переорієнтація датчика

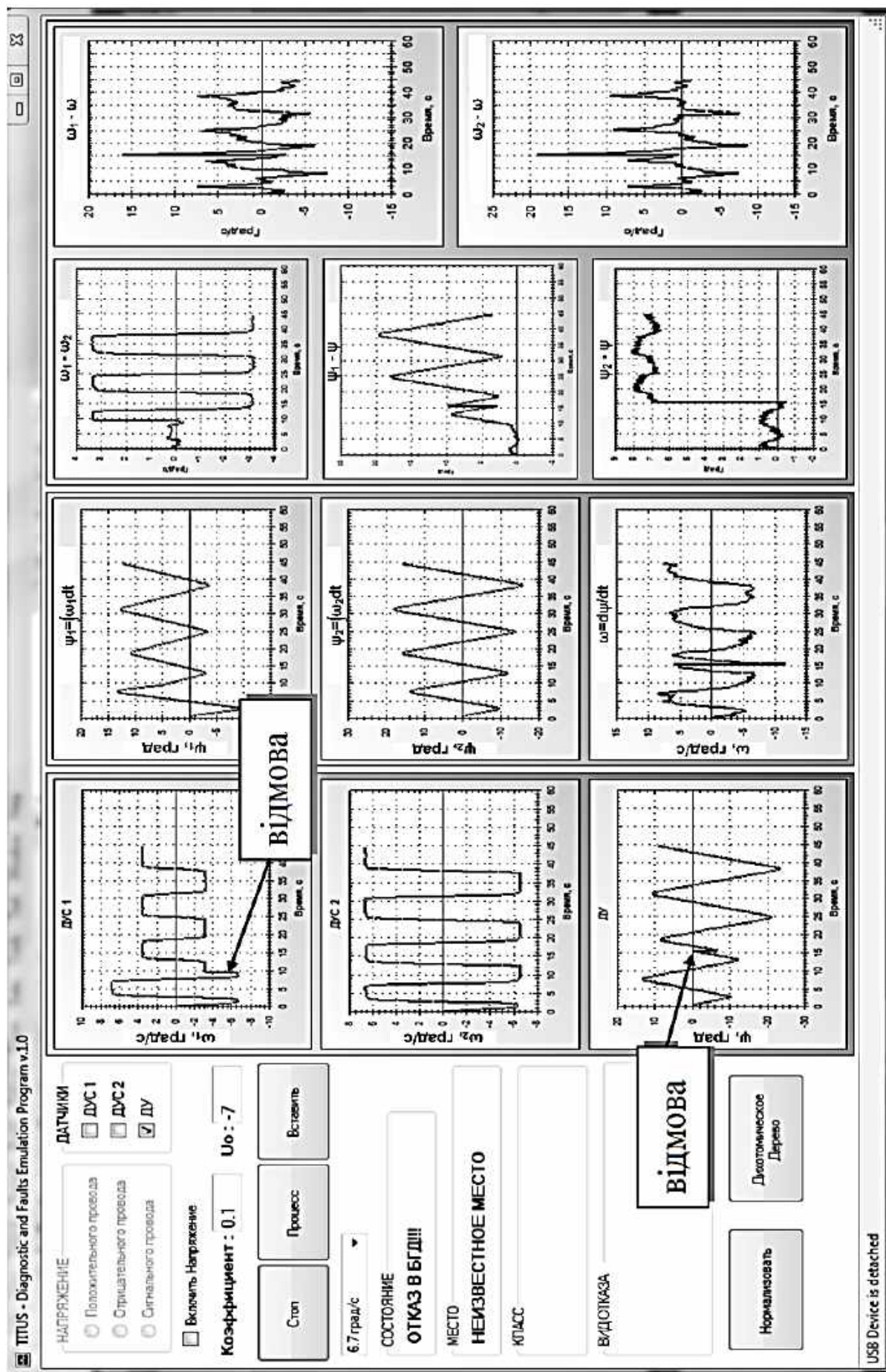


Рис. 4.36. Невідоме місце (відмова в двох датчиках)

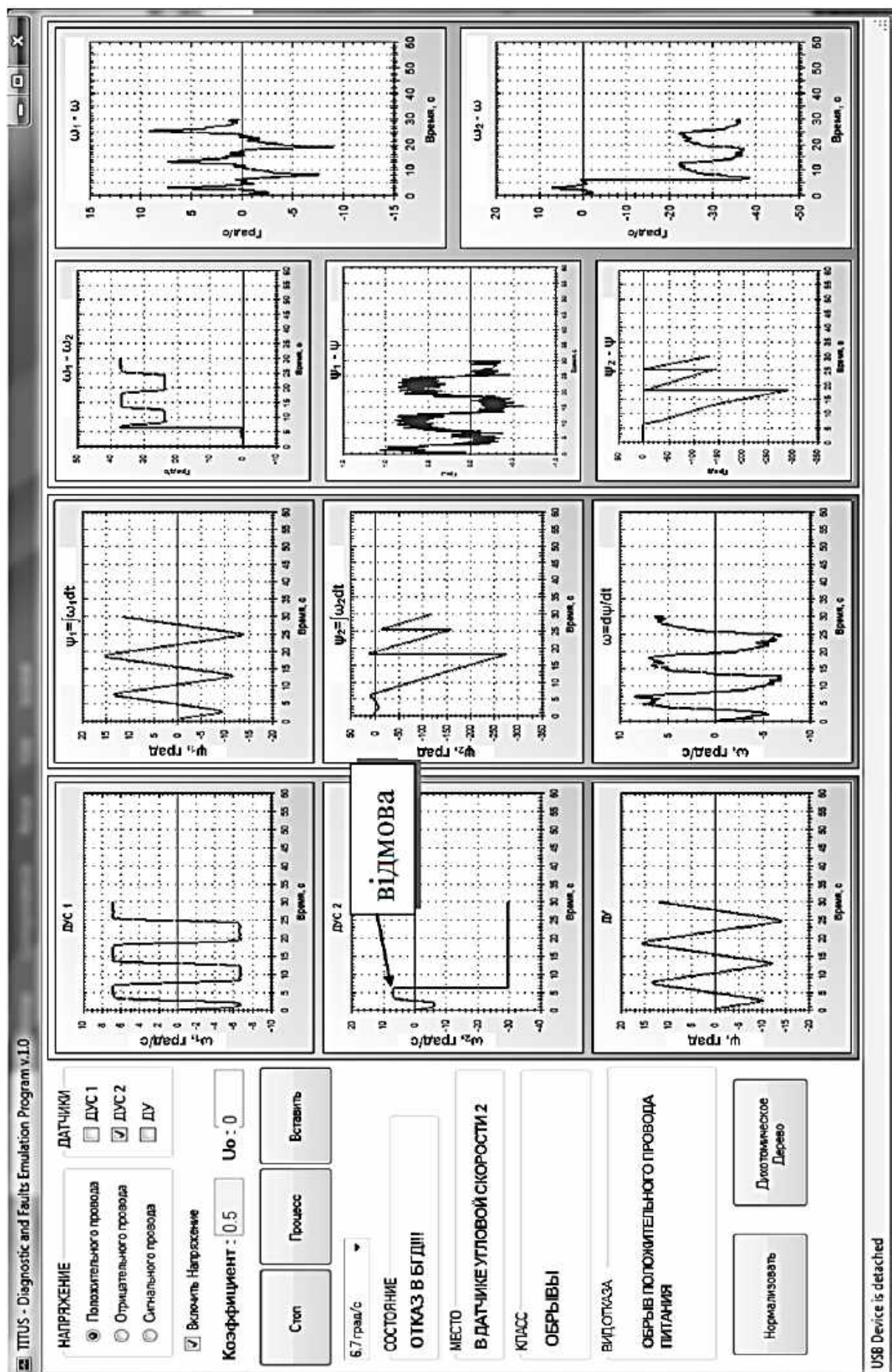


Рис. 4.37. Обрыв позитивного провода живления в ДКШ2

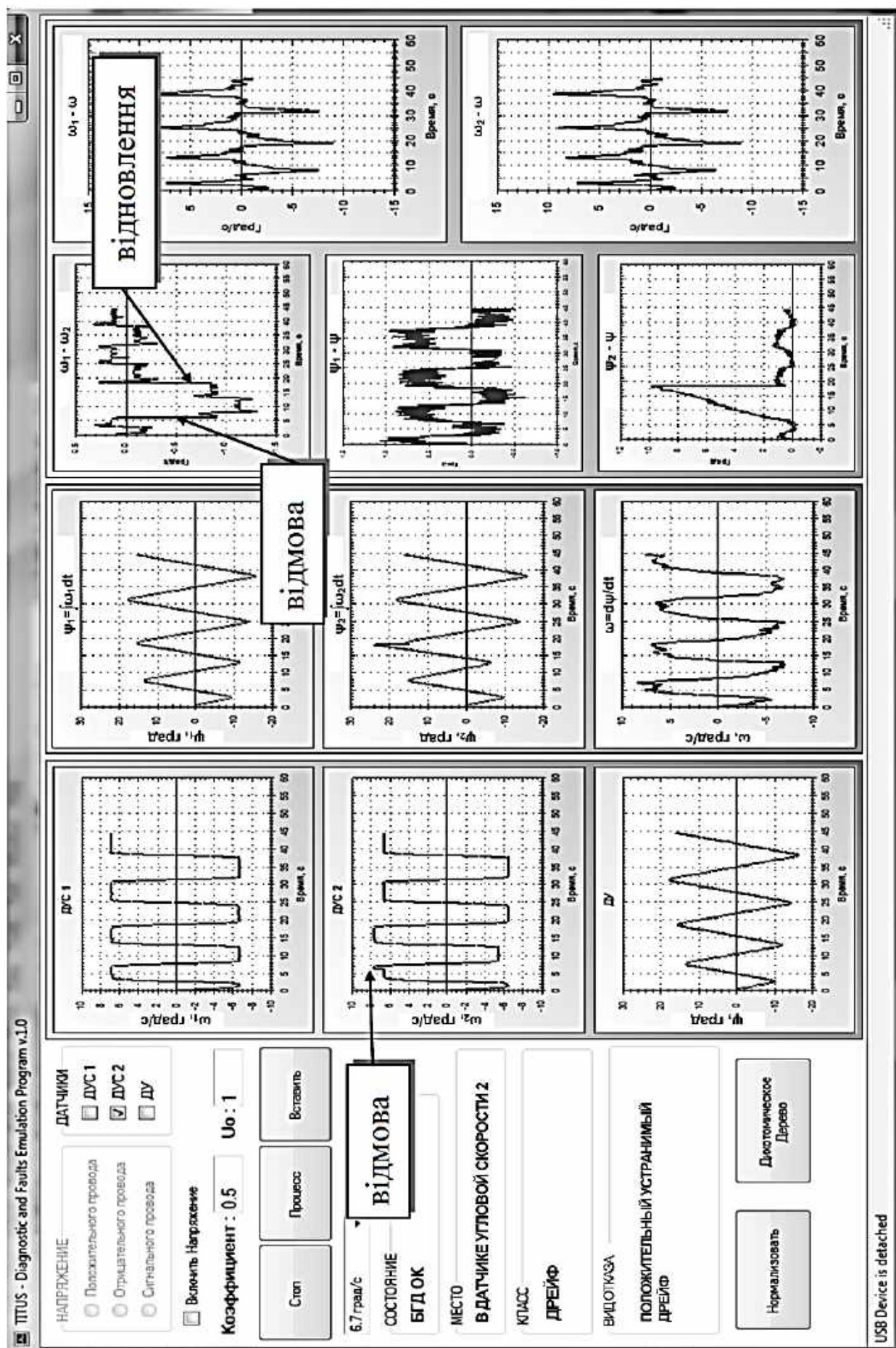


Рис. 4.38. Позитивный усувный дрейф нуля в ДКШ2

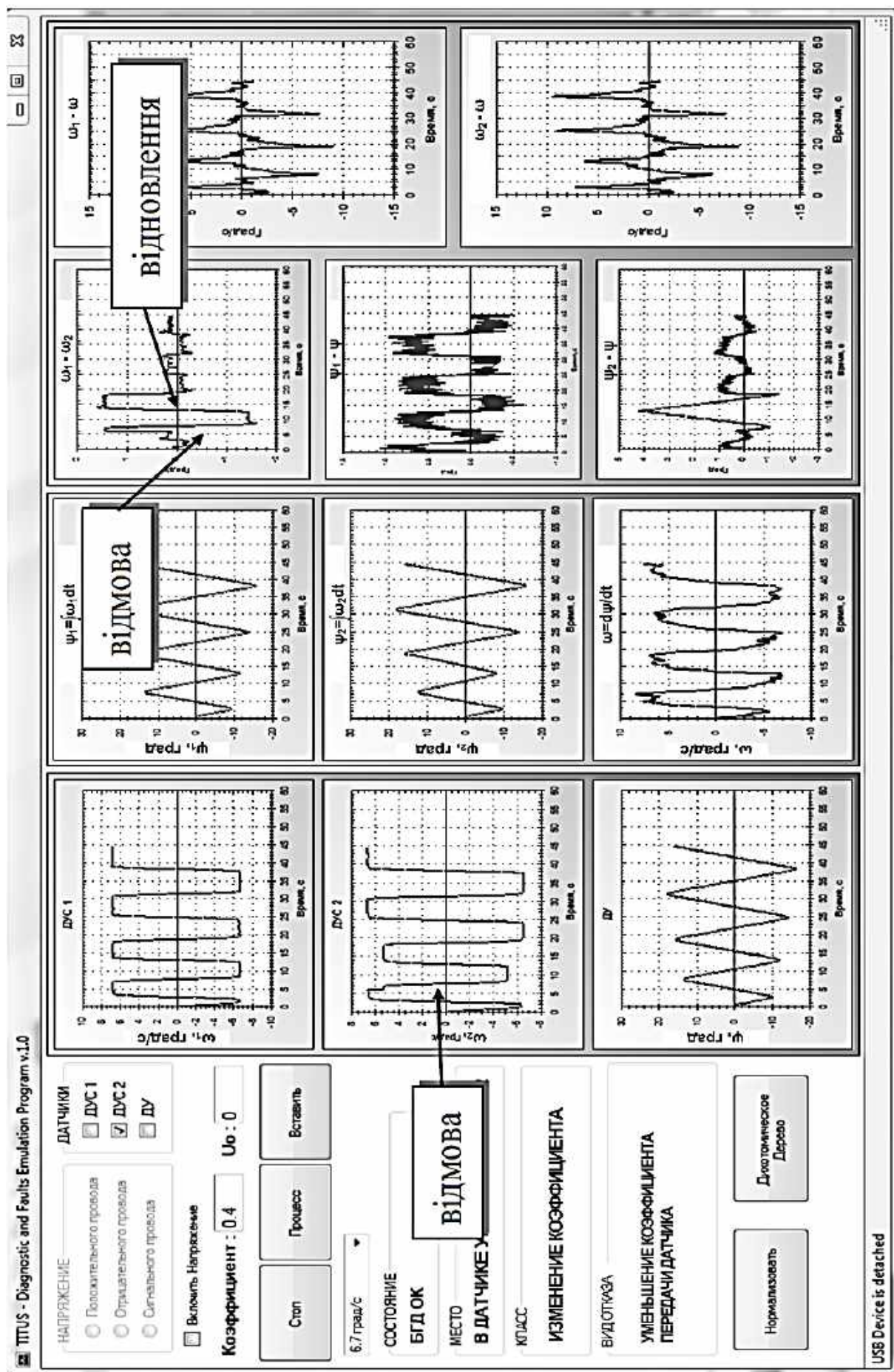


Рис. 4.39. Переборні зменшення коефіцієнта передачі датчика в ДКШ2

Таким чином, результати експериментів підтвердили адекватність розроблених математичних моделей для діагностування працездатності БГД з глибиною до виду відмови.

4.4.2. Результати експериментальних досліджень ІКНП

Експериментальні результати оцінювання другого модуля TITUS були отримані за допомогою аналізу успішності 38 студентів. Наступні два етапи були проведені для оцінювання навчальної програми і отримання експериментальних результатів, а саме:

- 19 студентів застосували систему без педагогічного забезпечення, було оцінено рівень імовірності опанування кожного компонента знань;
- 19 студентів використали ІОС для того, щоб оволодіти предметною областю.

Результати першого етапу оцінювання показано на рис. 4.41, де видно, що ступінь опанування всіх компонентів знань з предметної області має граничне значення 0,85. Значення нижче цього порога означають, що студент не засвоїв ці компоненти знань.

Після завершення першого етапу експерименту було оцінено ступінь опанування кожного компонента знань кожним студентом і розпочато використання навчальної програми до повного завершення всього навчального плану.

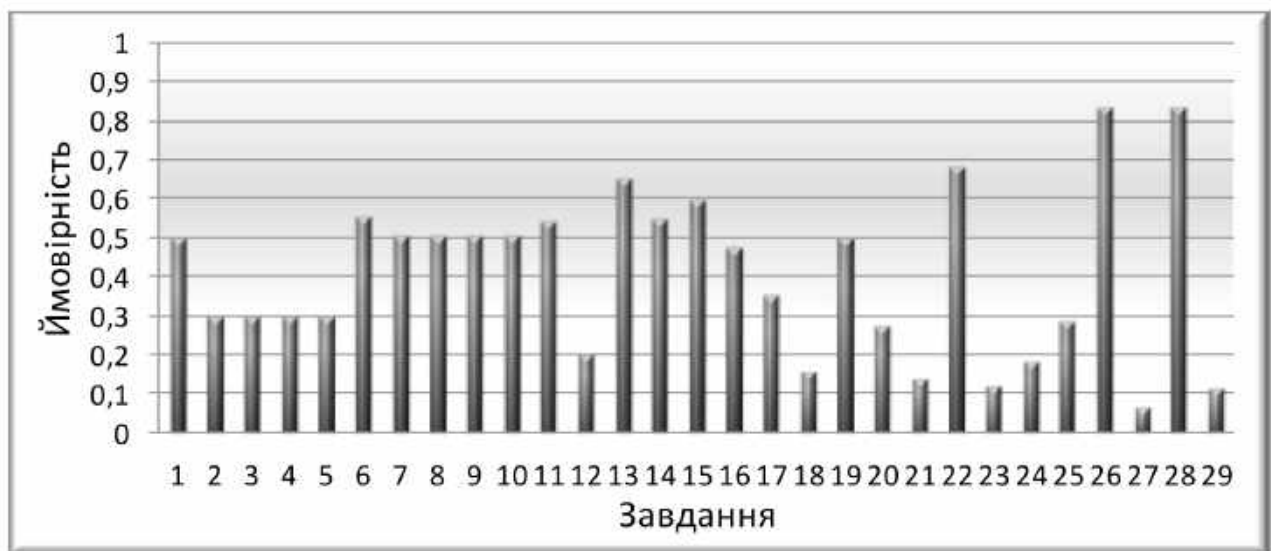


Рис. 4.41. Середній бал компонентів знань (без забезпечення)

Загальну кількість активувань кожної ДМ в навчальній системі через певні помилки або неправильні відповіді показано на рис. 4.42. Чим більша кількість активувань, тим більше помилок робили студенти при виконанні

відповідних завдань. Це відбувалося з різних причин, однак пояснити це можна складністю опанування певних компонентів знань.

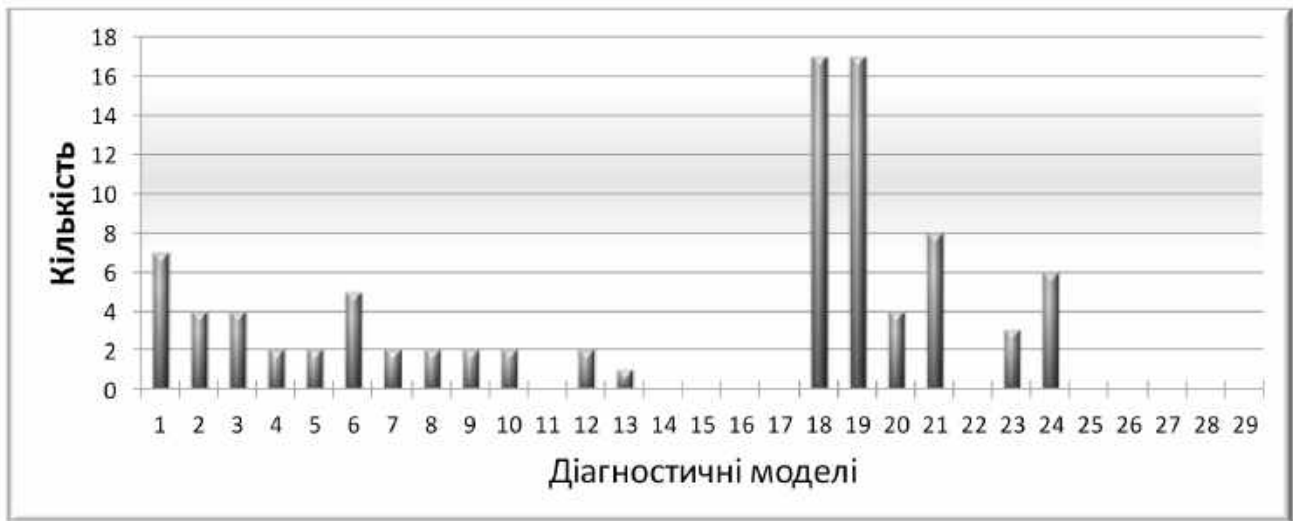


Рис. 4.42. Лічильники діагностичних моделей

Навчальна система передбачає надання студентам певної кількості завдань кожного типу. На рис. 4.43 показано кількість завдань, при виконанні яких студенти навели неправильні відповіді, а також загальну кількість певних завдань, наданих системою.

Наприклад, завдання 6 було подано близько 23 разів, тоді як завдання 15 – один раз, а такі завдання, як 28 або 37 не були наведені ні разу. Це свідчить про те, як система пристосовується під успішність кожного студента і створює індивідуальну навчальну програму для кожного з них.

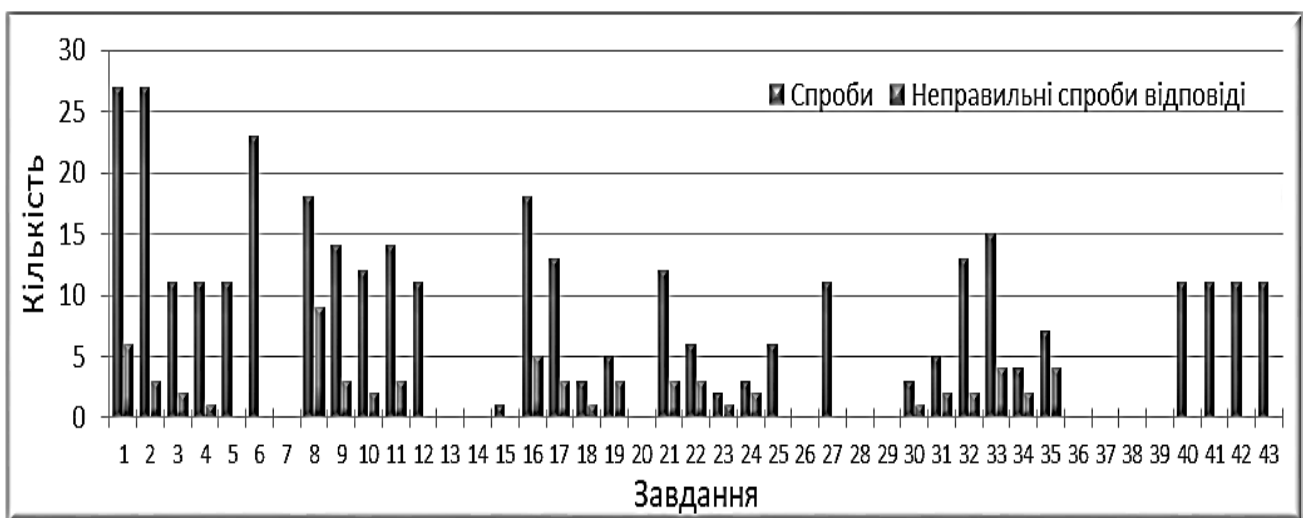


Рис. 4.43. Спроби виконання кожного завдання і неправильні спроби відповіді

Одним із важливих параметрів, який контролюється ІКНП, є час, що використовується на виконання кожного завдання, його середнє значення показано на рис. 4.44, а також показано для відповіді на які завдання студентам знадобилося більше часу.

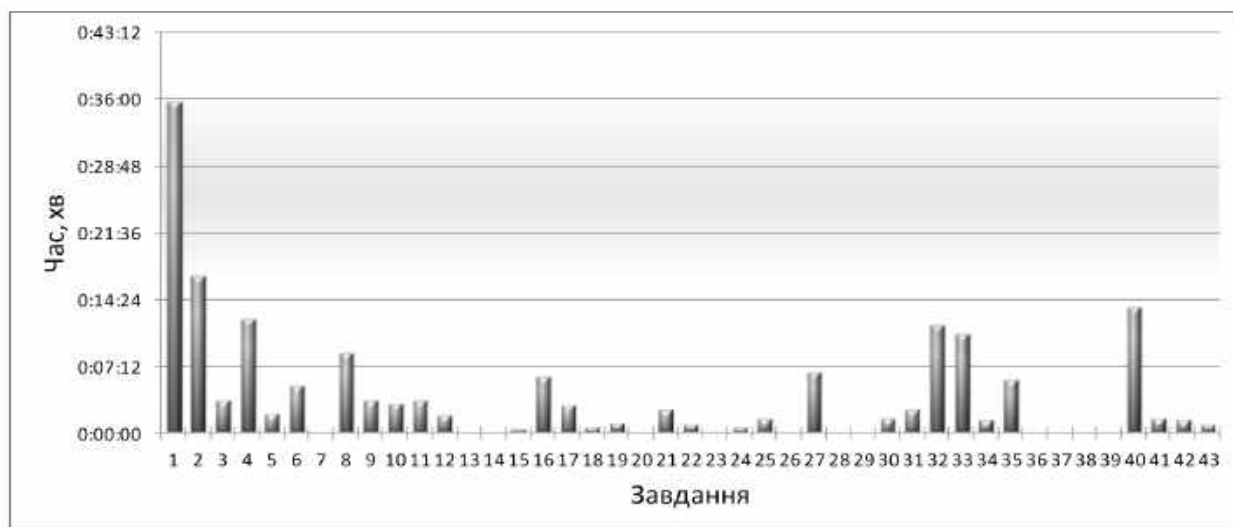


Рис. 4.44. Час, використаний на виконання кожного завдання (середнє значення)

Час, витрачений кожним студентом, який користувався навчальною системою з педагогічною допомогою, зображено на рис. 4.45.

Як заключний етап експерименту навчальна програма після виконання навчального плану і подолання кожного порога ймовірності знову оцінює ступінь опанування кожним студентом відповідних компонентів знань з предметної області. Середні результати щодо компонентів знань 19 студентів після того, як вони скористалися навчальною програмою, показано на рис. 4.46.

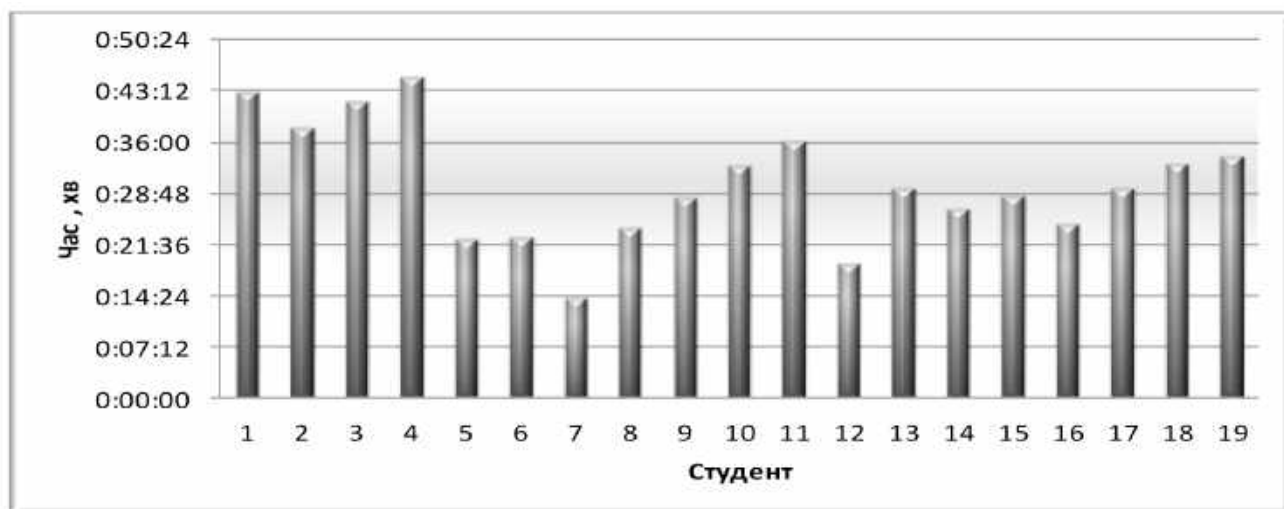


Рис. 4.45. Час, використаний кожним студентом

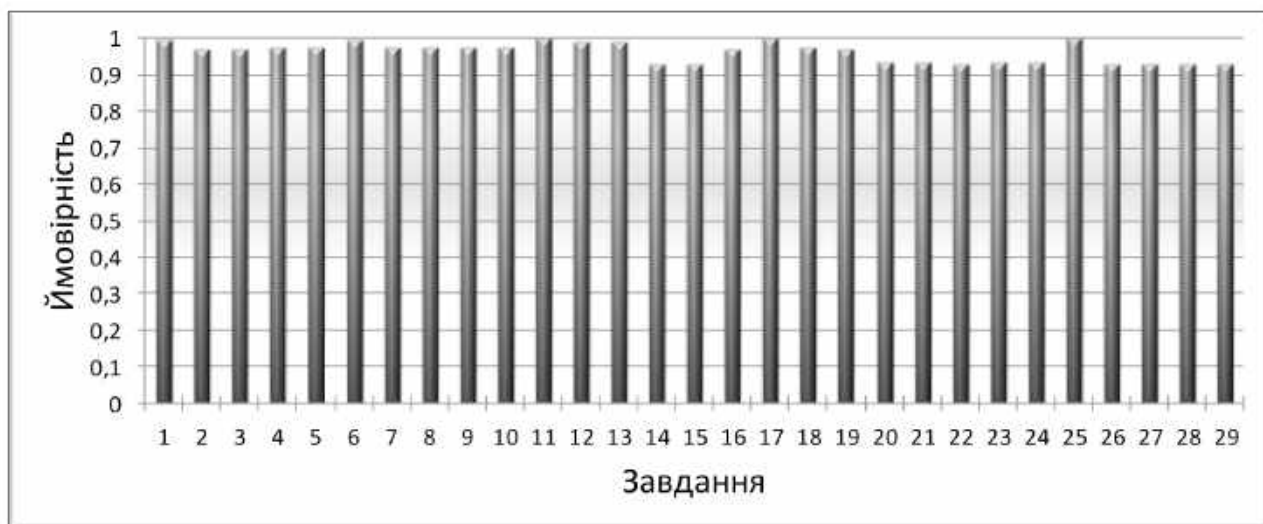


Рис. 4.46. Середній бал, одержаний студентами при опануванні компонентів знань з допомогою ІКНП

Таким чином, експерименти підтверджують ефективність розробленої ІКНП.

Контрольні запитання

1. Що являє собою апаратно-програмний комплекс інтелектуального навчання відмовостійкості БГД?
2. Що входить до структури апаратного забезпечення ІНК?
3. Які функції виконує модуль ПЗДДВ?
4. Які функції виконує модуль ІКНП?
5. Які особливості програмного забезпечення мають обидва модулі ІНК?
6. Які компоненти знань закладено в ІНК?
7. Які компоненти знань охоплено кожним завданням?
8. Що показують результати тестування ІНК?

ВИСНОВКИ

У посібнику продемонстровано вирішення науково-технічної задачі розроблення призначеного для студентів апаратно-програмного комплексу активної відмовостійкості вимірювальних систем.

Основні результати:

- проаналізовано реальний стан інтелектуальних навчальних систем, що показав збільшення ефективності освітніх процесів порівняно з іншими класичними методами або навчальними комп'ютерними програмами іншого виду шляхом впровадження ІКНП в навчальні курси;
- проведено структурний аналіз для визначення основних завдань, які мають бути виконані з метою розроблення ІКНП;
- проаналізовано принципи дії і структуру математичної моделі активної відмовостійкої вимірювальної системи, що застосовується в БГД, а також розроблено й побудовано необхідний апаратний комплекс;
- створено комп'ютерну програму з графічним користувацьким інтерфейсом (ГКІ) для реалізації результатів відповідних досліджень та їх аналізу з метою розроблення, тестування та впровадження належних математичних моделей розширеного відмовостійкого алгоритму в БГД;
- розроблено і застосовано навчальний план із трьома послідовними модулями і рівнями складності для вивчення принципів активних відмовостійких вимірювальних систем;
- побудовано модель компонентів знань, що складається з визначення і групування набору необхідних різних знань і навичок для оволодіння предметною областю;
- розроблено 43 різних завдання з 212 різними варіаціями для надання студентам платформи для критичного розгляду своїх знань і навичок або здобуття нових;
- на основі відповідних компонентів знань для оцінювання кожного завдання створено баєсові мережі, які формалізують метод моніторингу та оцінювання ступеня оволодіння відповідними компонентами знань в поточному завданні;
- розроблено і використано адаптивний педагогічний метод для індивідуального вибору завдань, які мають бути виконані кожним студентом на основі оцінювання ступеня оволодіння кожним відповідним компонентом знань, що відображає успішність студента при кожній спробі вирішення певної задачі;
- створено специфічний метод контролю відповідей студентів в процесі використання ІКНП відповідно до компонентів знань щодо поточного завдання. Метод дозволяє аналізувати відповідь студента і динамічно в міру необхідності надавати специфічні підказки або уточнюючу інформацію щодо певних компонентів знань на основі

успішності студента. Крім цього, ІКНП містить повний навчальний план, яким студенти і система можуть користуватися за запитом;

- розроблено повний набір необхідних компонентів як комп'ютерну програму для побудови ІКНП, графічний користувацький інтерфейс, а також програму контролю. Завдання і проблеми було реалізовано як модульні програми і наведено їх графічне зображення для відповідного педагогічного подання в ГКІ;

- проведено синтез ПЗДДВ і ІКНП для побудови TITUS як апаратно-програмного комплексу активних відмовостійких вимірювальних систем, призначеного для того, щоб надати студентам і викладачам даного предмета допоміжну навчальну і освітню платформу з метою кращого розвитку професійних навичок студентів;

TITUS шляхом проведення короткострокового курсу з вільним графіком було протестовано за участю декількох студентів, що мають різну ступінь оволодіння компонентами знань (КЗ) предметної області. Їх ступені володіння КЗ було виміряно до того, як вони почали використовувати TITUS і після того, як вони повністю завершили навчальний план.

У результаті тестування було встановлено, що студенти істотно підвищили ступінь оволодіння КЗ порівняно з тими знаннями, які були здобуті до того, як почали використовувати TITUS, а також з'явилася можливість оцінити більш складні КЗ для засвоєння і найбільш складні завдання із застосуванням декількох статистичних методів, які може запропонувати TITUS.

Така інформація є корисною для викладачів з метою визначення або адаптації стратегій в постійно діючих курсах для поліпшення професійних навичок студентів, а також моніторингу проблемних студентів або концепцій. Крім цього, результати показали, що педагогічний адаптивний алгоритм, реалізований в ІКНП, створено для побудови індивідуального навчального плану кожного студента на основі його успішності. Це було досягнуто завдяки інтелектуальним характеристикам, введеним в педагогічний алгоритм у вигляді баєсових виведень. На жаль, TITUS неможливо порівняти з іншими системами даного виду через відсутність будь-якої іншої системи, яка стосується цієї специфічної теми.

Остаточні результати показали, що TITUS є економічно доцільним і ефективним комплексом, який надає студентам і викладачам підтримку завдяки використанню адаптивної педагогічної моделі, інструментів для аналізу даних і модулів, призначених для навчання і практики. TITUS може стати допоміжним засобом при вивченні курсів з адаптивними процесами навчання, орієнтованими на професійні навички студентів, з метою підвищення ефективності повного засвоєння знань щодо активних відмовостійких вимірювальних систем.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Martinez Bastida, J. P. Developing a Pedagogical Intervention Support based on Bayesian Networks / J. P. Martinez Bastida, E. V. Gavrilenko, A. G. Chukhray // *13th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications, ICTERI 2017, Kiev, Ukraine.* – Kiev 2017. – P. 265 – 272.
2. Woolf, Beverly Park. Building Intelligent Interactive Tutors Student-centered strategies for revolutionizing e-learning / Beverly Park Woolf // Morgan Kaufmann Publishers. – 2009. – P. 11 – 12.
3. Hyacinth, S. N. Intelligent Tutoring Systems: an overview / Nwana S. Hyacinth // *Artificial Intelligence Review University of Liverpool.* – 1990. – Vol. 4. – P. 251 – 277.
4. The Andes physics tutoring system: Lessons learned / K. VanLehn, C. Lynch, K. Schultz and others // *International Journal of Artificial Intelligence in Education.* – 2005. – Vol.15(3). – P.147 – 204.
5. Beetle II: Deep Natural Language Understanding and Automatic Feedback Generation for Intelligent Tutoring in Basic Electricity and Electronics / M. Dzikovska, N. Steinhauser, E. Farrow and others // *International Journal of Artificial Intelligence in Education.* – 2014. – Vol. 24. – P. 284 – 32.
6. VanLehn, K. Intelligent Tutoring Systems for Continuous, Embedded Assessment / K. VanLehn // *The future of assessment: Shaping teaching and learning* / Edited by C. Dwyer – Mahwah, NJ: Erlbaum. – 2008. – P. 113 – 138.
7. Karlgren, K. Intelligent tutoring systems (ITS) [Електронний ресурс] / K. Karlgren – Режим доступа: <http://www.dsv.su.se/klas/Learn/ITS/its.html>. – 09.03.2006.
8. Molnar, A. Computers in education: A brief history [Електронний ресурс] / A. Molnar // *The Journal.* – 2006 – Vol. 24. – Режим доступа: <http://www.thejournal.com/articles/13739>.
9. Shang Y. An intelligent distributed environment for active learning / Y. Shang, H. Shi, S. S. Chen // *ACM Journal of Educational Resources in Computing.* – 2001. – Vol. 1(2). – P. 4.
10. A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect / B. P. Arroyo, W. Burelson Woolf, K. Muldner and others // *International Journal of Artificial Intelligence in Education.* – 2014. – Vol. 24. – P. 387 – 426.
11. Walker, N. R. Adaptive Intelligent Support to Improve Peer Tutoring in Algebra / N. Rummel Walker, K. R. Koedinger // *International Journal of Artificial Intelligence in Education.* – 2014. – Vol. 24. – P. 33 – 61.
12. Bloom, B. S. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to one tutoring / B. S. Bloom // *Educational Researcher.* – 1984. – Vol. 13. – P. 4 – 16.
13. VanLehn, K. The Behavior of Tutoring Systems / K. VanLehn

// International Journal of Artificial Intelligence in Education. – 2006 – Vol. 16. – Issue 3. – P. 227 – 265.

14. VanLehn, K. Applications of simulated students: An exploration / K. VanLehn, S. Ohlsson, R. Nason // Journal of Artificial Intelligence in Education. – 1996. – Vol. 5(2). – P. 135 – 175.

15. Improving Intelligent Tutoring Systems: Using Expectation Maximization to Learn Student Skill Levels / I. Arroyo Kimberly, S. Mahadevan, B. Woolf, A. Barto // Lecture Notes in Computer Science (Berlin Heidelberg), Springer-Verlag. – 2006. – Vol. 4053. – P. 453 – 462.

16. Martin, K. N. AgentX: Using Reinforcement Learning to Improve the Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems / K. N. Martin, I. Arroyo // Intelligent Tutoring Systems. – 2004. – P. 564 – 572.

17. Forbus, K. D. Smart machines in education / K. D. Forbus, P. J. Feltovich // Cambridge, MA: MIT Press/AAAI Press. – 2001. – 489 p.

18. Sleeman, D. Intelligent Tutoring Systems / D. Sleeman, J. S. Brown // London: Academic Press Inc. – 1982. – 345 p.

19. Beal, C. R. Gaining Confidence In Mathematics: Instructional Technology For Girls / C. R. Beal // International Conference on Mathematics/Science Education & Technology (M/SET 2000). – 2000. – C. 57 – 64.

20. Beck, J. E. Advisor: A Machine Learning Architecture For Intelligent Tutor Construction / J. E. Beck, B. P. Woolf, C. R. Beal // Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence. – 2000. – P. 552 – 557.

21. Evaluation of a meta-tutor for constructing models of dynamics systems / L. Zhang, K. VanLehn, S. Girard and others // Computers & Education. – 2014. – Vol. 75. – P. 196 – 217.

22. Sreenivasa Sarma, B. H. Intelligent Tutoring Systems, Using Reinforcement Learning / B. H. Sreenivasa Sarma, B. Ravindran // Home Informatics and Telematics: ICT for The Next Billion. – 2007. – P. 65 – 78.

23. Yegnanarayana, B. Artificial Neural Networks / B. Yegnanarayana // Printice-Hall of India Private Limited. – 2004. – 476 с.

24. Кулик, А. С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления / А. С. Кулик. – Харьков: ХАИ, 2000. – 260 с.

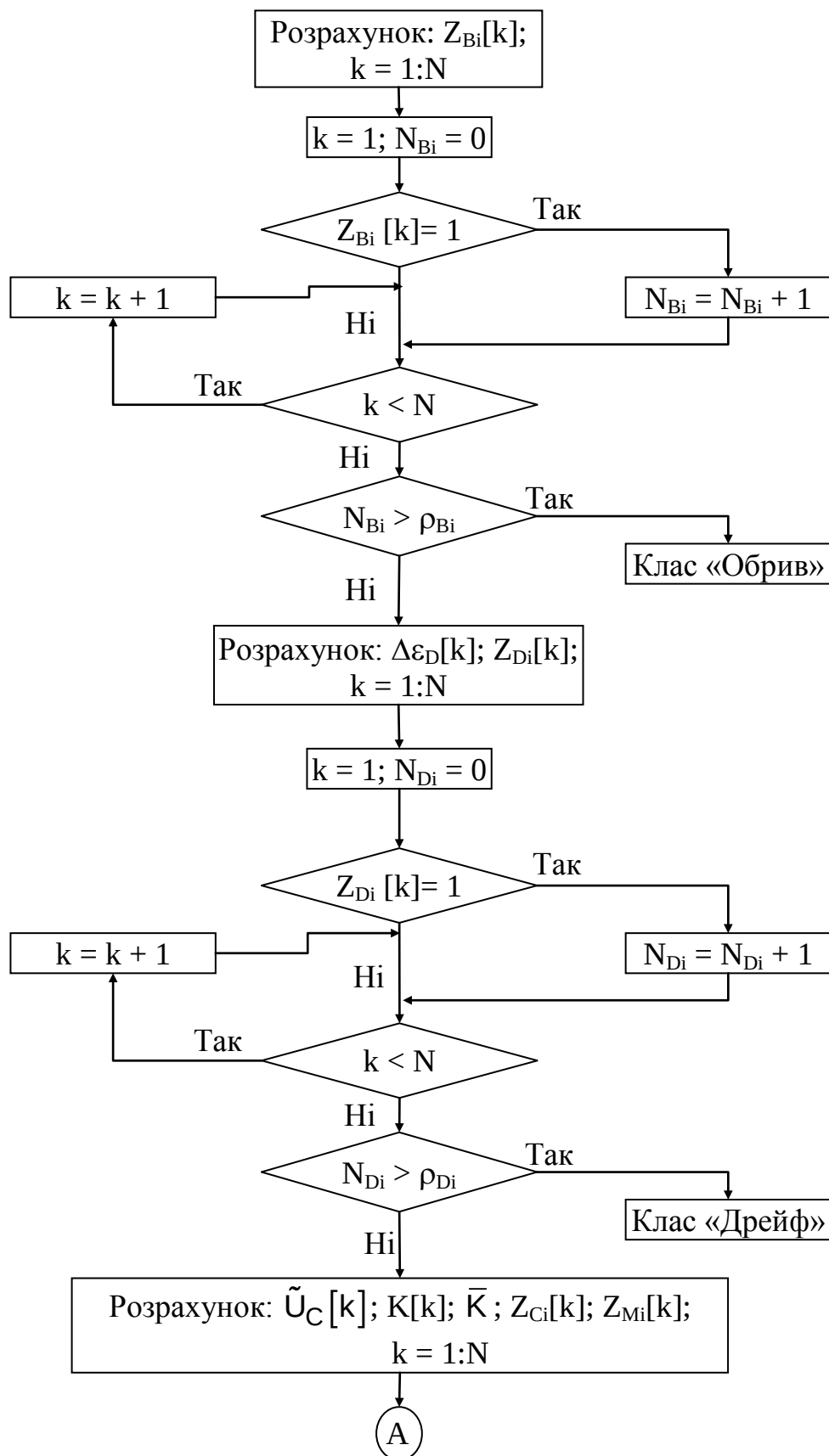
25. Кулик, А. С. Стендовое компьютерное диагностирование блока гироскопических датчиков: учеб. пособие / А. С. Кулик, А. П. Козий, Н. П. Отраднава. – Харьков: ХАИ, 1995. – 63 с.

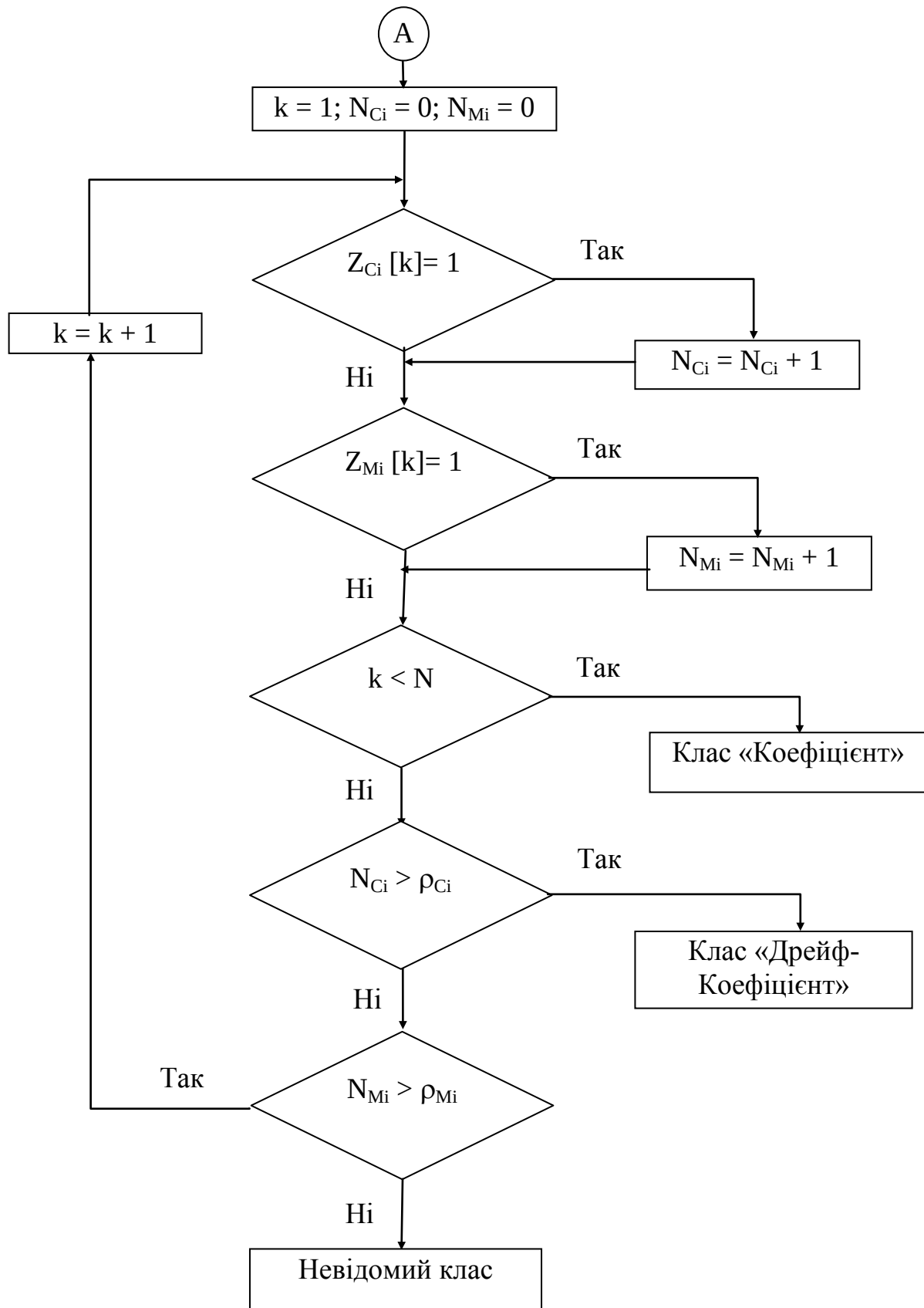
26. Kulik, A. Control Systems Fault Tolerant Ensuring by means of Fault Diagnosis and Counteracting / A. Kulik // Proc. IFAC Symposium SAFEPROCESS' 94. – Espo (Finland). – 1994. – Vol. 1 – P. 157 – 162.

27. Гавриленко, О. И. Структурно-аналитический анализ ресурсов восстановления работоспособности систем управления / О. И. Гавриленко // Авіаційно-космічна техніка і технологія: зб. наук. праць. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т». – 2002. – Вип. 28. – С. 27 – 32.

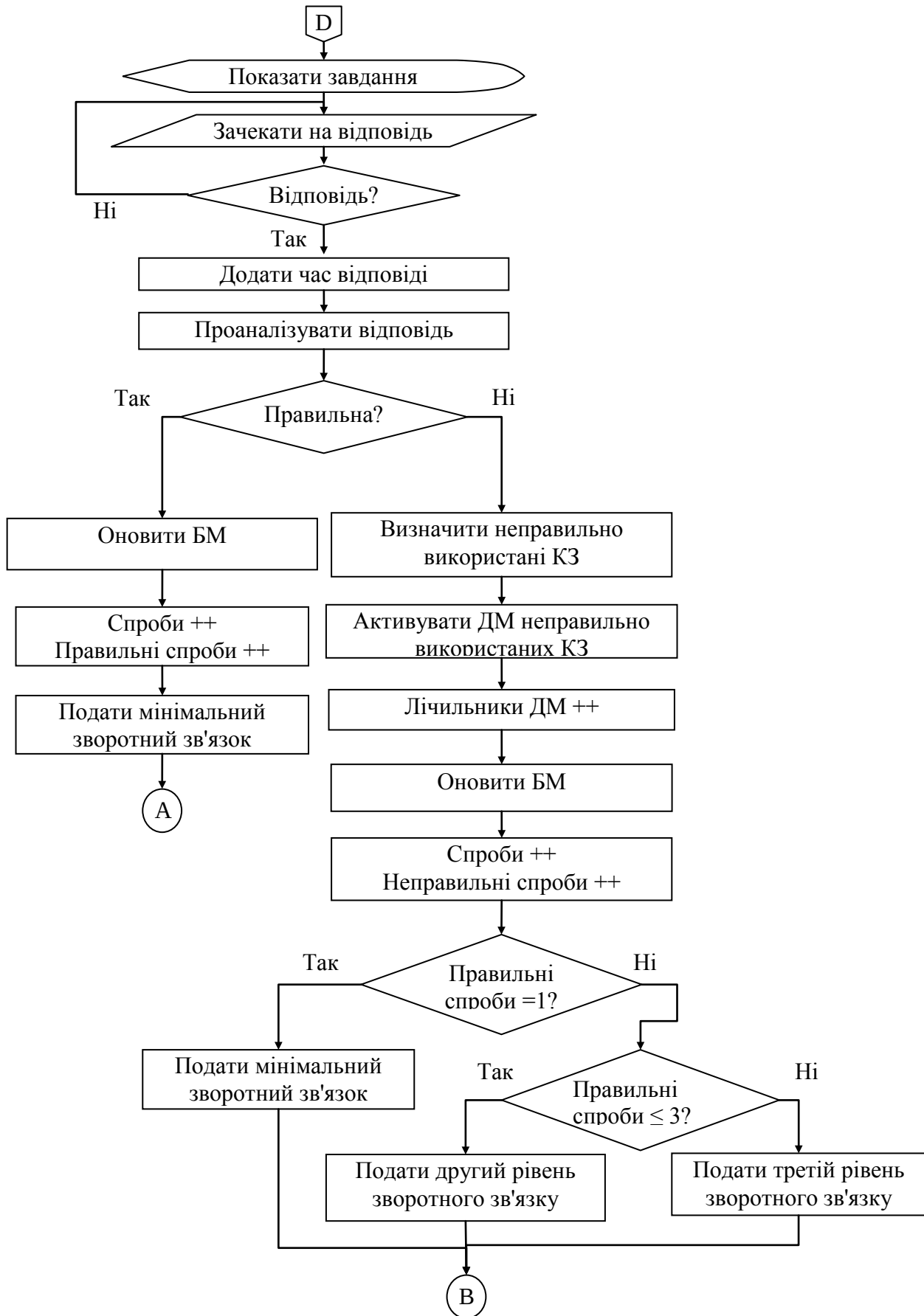
28. Кулик, А. С. Концепция построения интеллектуальных систем управления / А. С. Кулик, О. И. Гавриленко // Вісті Академії інженерних наук України. Машинобудування та прогресивні технології. – 2000. – № 4. – С. 129 – 136.
29. Kulik, A. S. An improved Fault-Tolerant Algorithm For A Gyroscopic Sensors Unit / A. S. Kulik, J. P. Martinez-Bastida // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 4 (91). – С. 60 – 66.
30. Ефанов, В. Н. Параметрический синтез отказоустойчивых алгоритмов управления в условиях неопределенности / В. Н. Ефанов, Т. Р. Суяргулов // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 6. – С. 118 – 135.
31. Кулик, А. С. Интеллектуализация систем управления как средство обеспечения отказоустойчивости / А. С. Кулик, О. И. Гавриленко // Труды Гос. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 2000. – Вып. 18. – С. 50 – 53.
32. Frank, P.M. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy – A survey and some new results / P. M. Frank // Automatica. – 1990. – Vol.26. – P. 459 – 474.
33. Isermann, R. Fault Diagnosis of Machines Via Parameter Estimation and Knowledge Processing – Tutorial Paper / R. Isermann // Automatica. – 1993. – Vol. 29. – P. 815 – 835.
34. Russel, S. Artificial Intelligence A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig // Prentice Hall. USA. – 2010. – 1132 p.
35. Чухрай, А. Г. Методология обучения алгоритмам: монография / А. Г. Чухрай. – Харьков : ХАИ, 2017. – 336 с.
36. Bloom, S. Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain / S. Bloom // New York, David McKay Co. Inc. – 1956. – 207 p.

БЛОК-СХЕМА ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ВІДМОВ



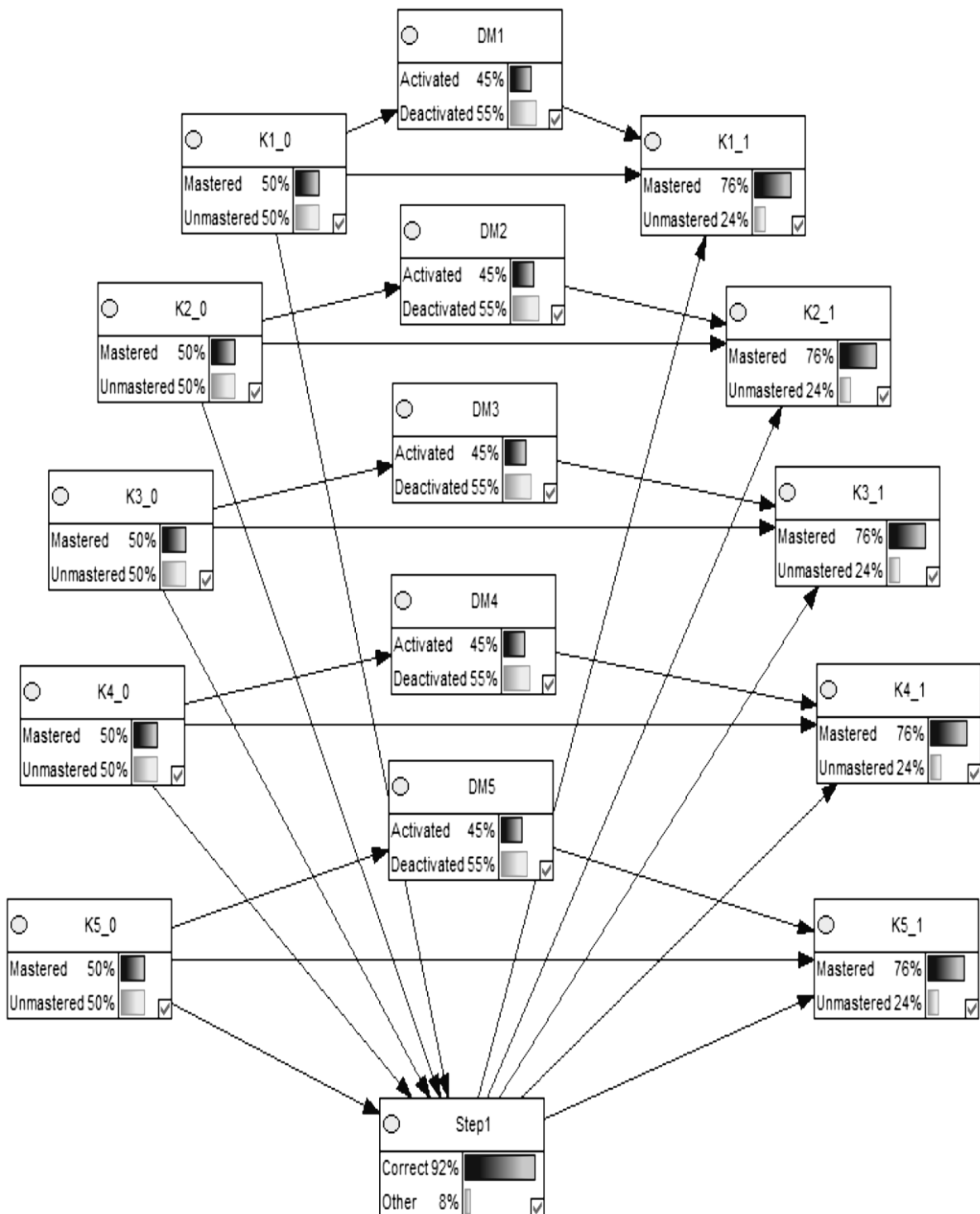




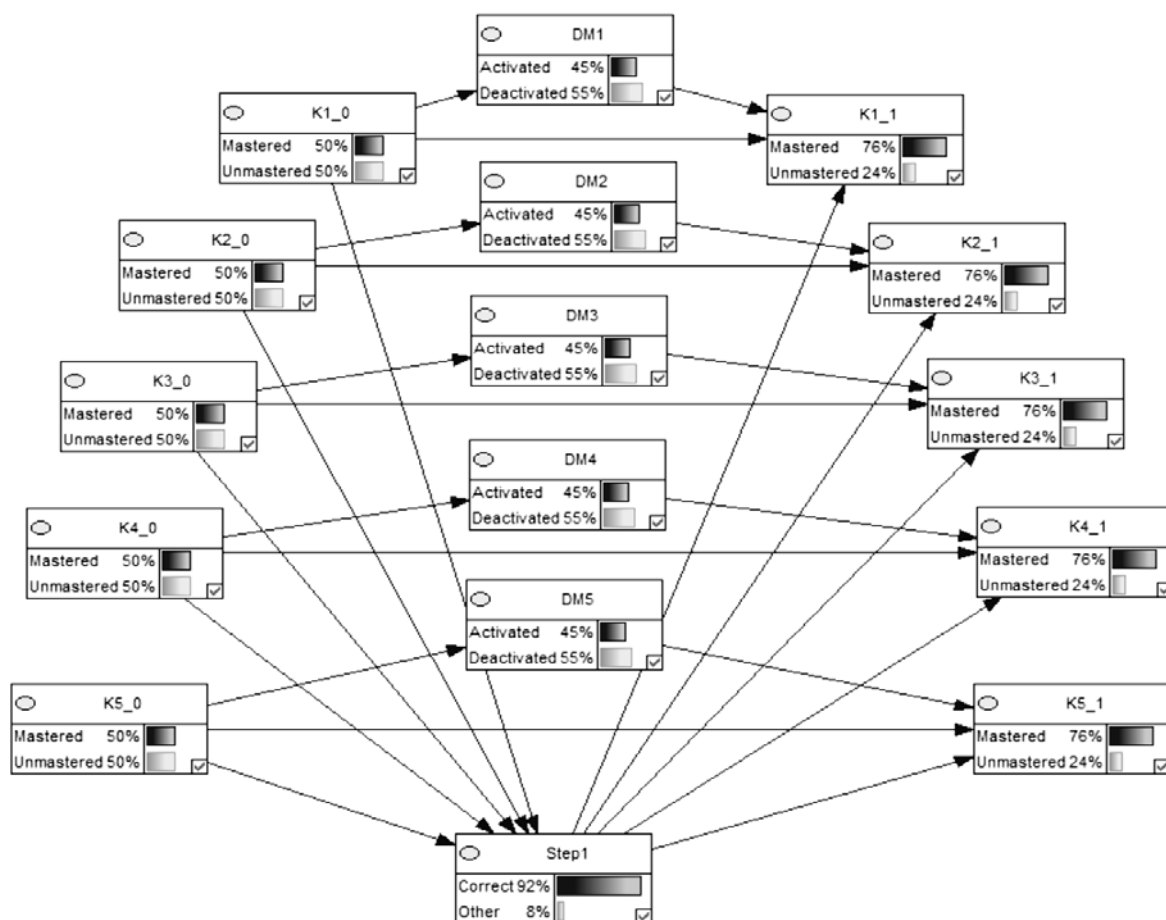


ПОВНИЙ КОМПЛЕКС БМ ІЗ ВІДПОВІДНИМИ ЗАВДАННЯМИ

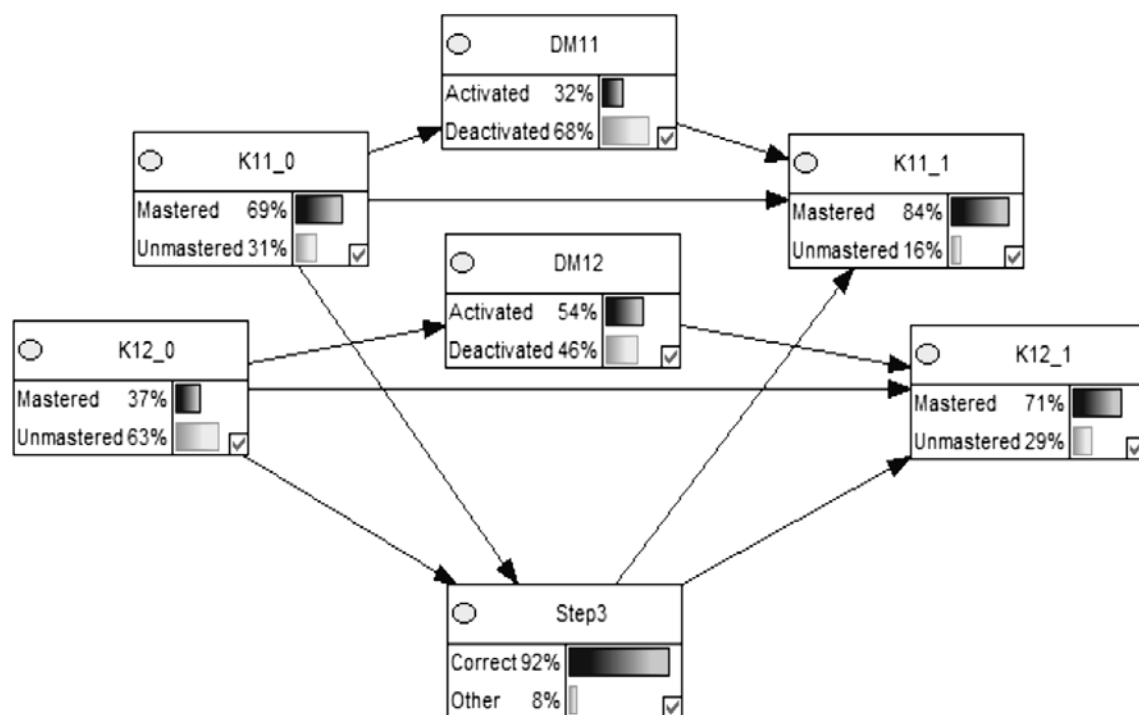
1. Опишіть статичні характеристики ДК.



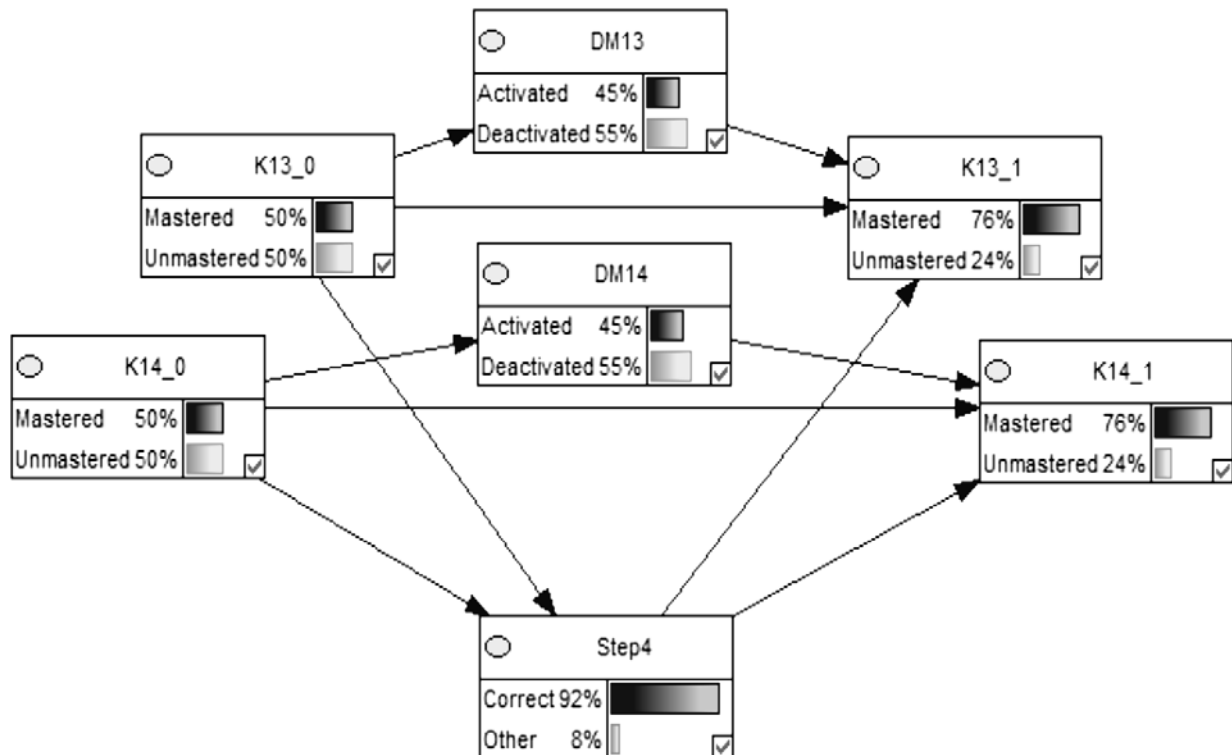
2. Опишіть статичні характеристики ДКШ.



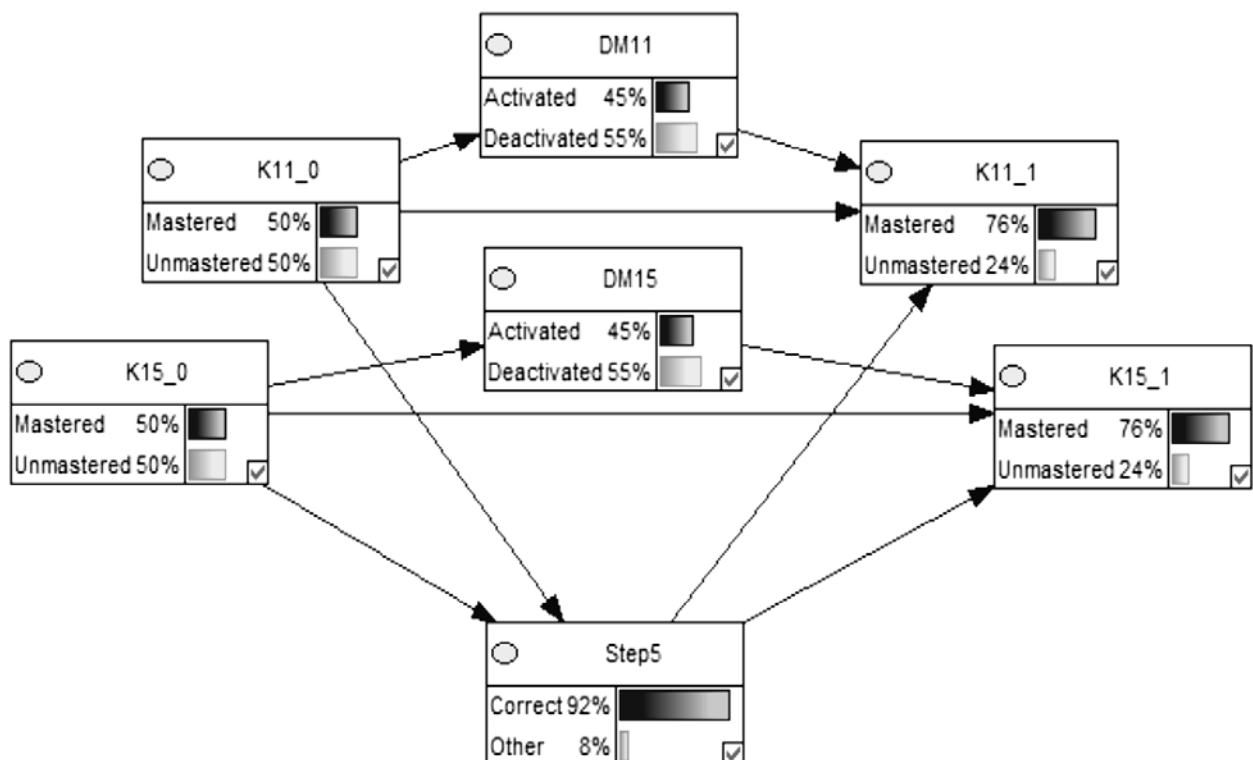
3. ДКШ1 має постійний сигнал виходу -15 В, визначить клас і вид відмови.



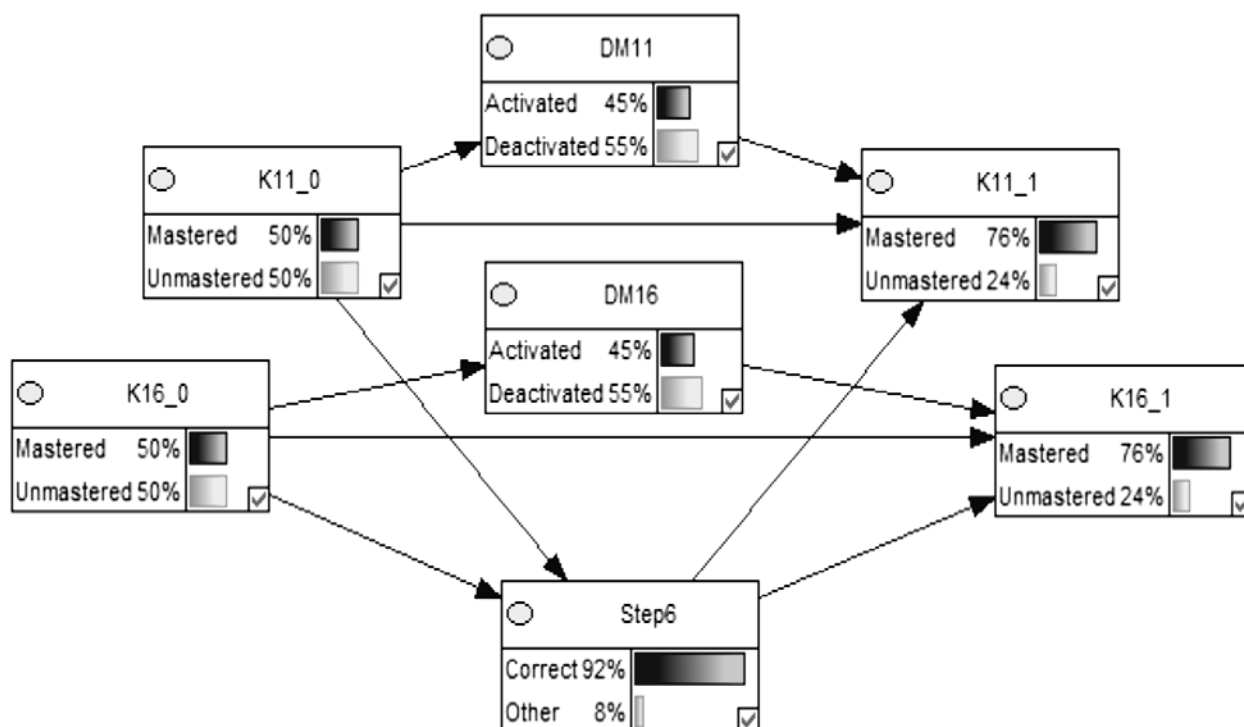
4. Величина сигналу ДК постійно зменшується на 1.18 В, визначить клас і вид відмови.



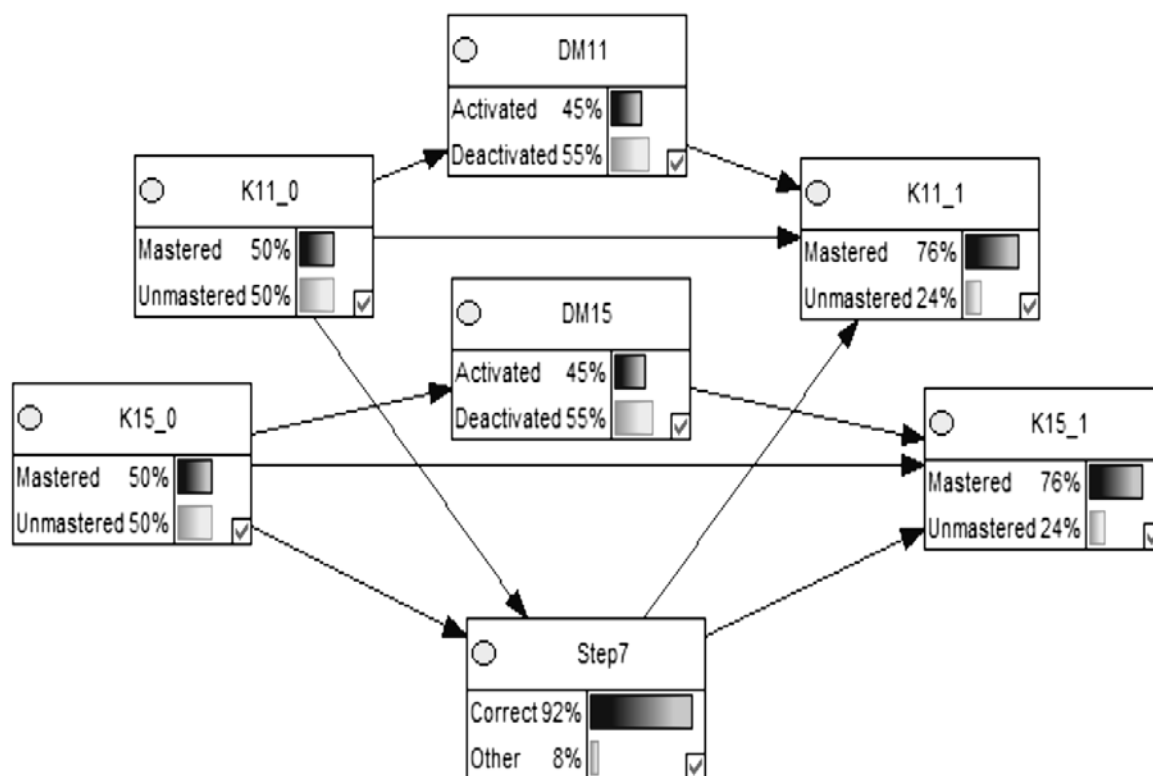
5. ДКШ2 має постійний сигнал виходу 0 В, визначить клас і вид відмови.



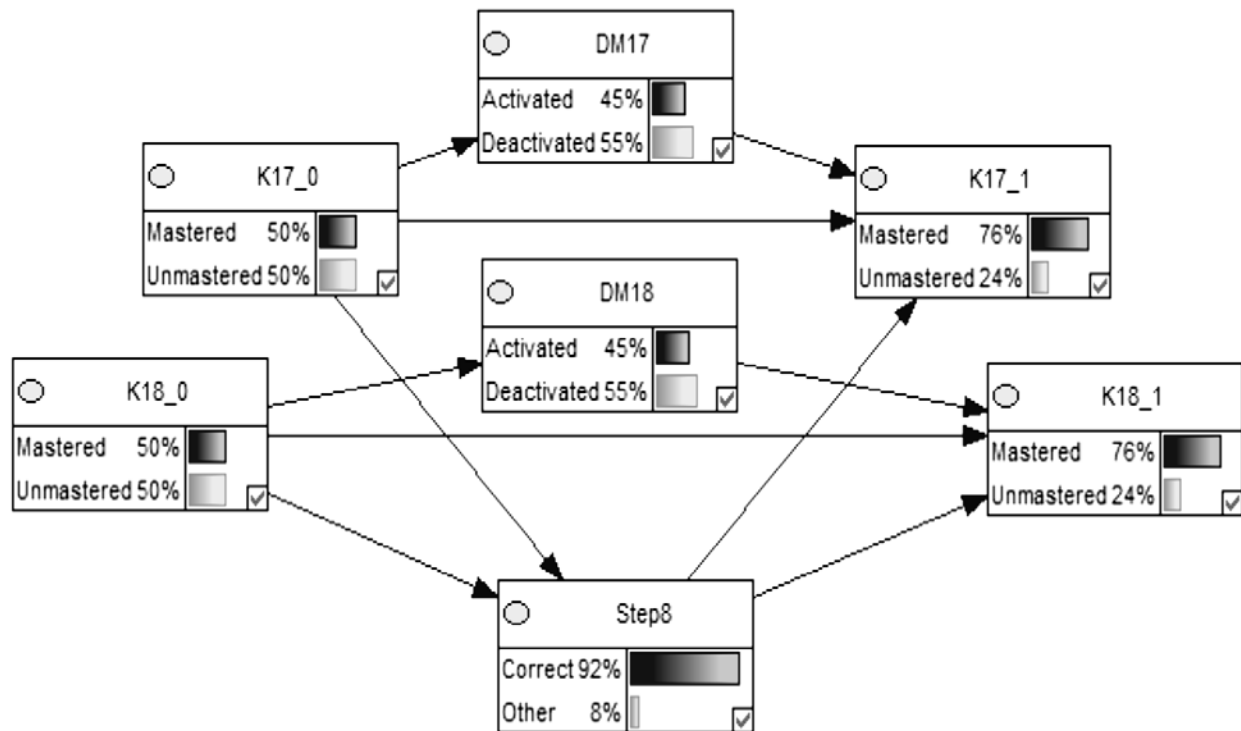
6. ДКШ1 має постійний сигнал виходу 15 В, визначить клас і вид відмови.



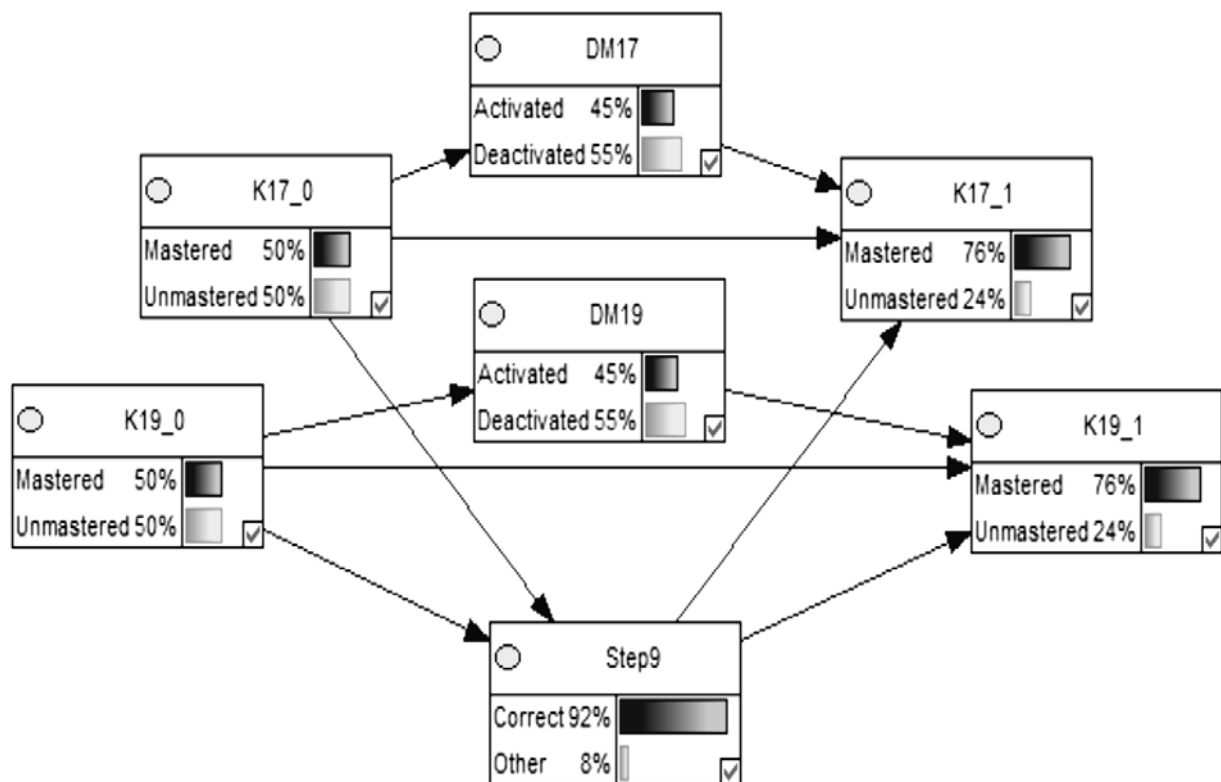
7. ДКШ1 має постійний сигнал виходу 0 В, визначить клас і вид відмови.



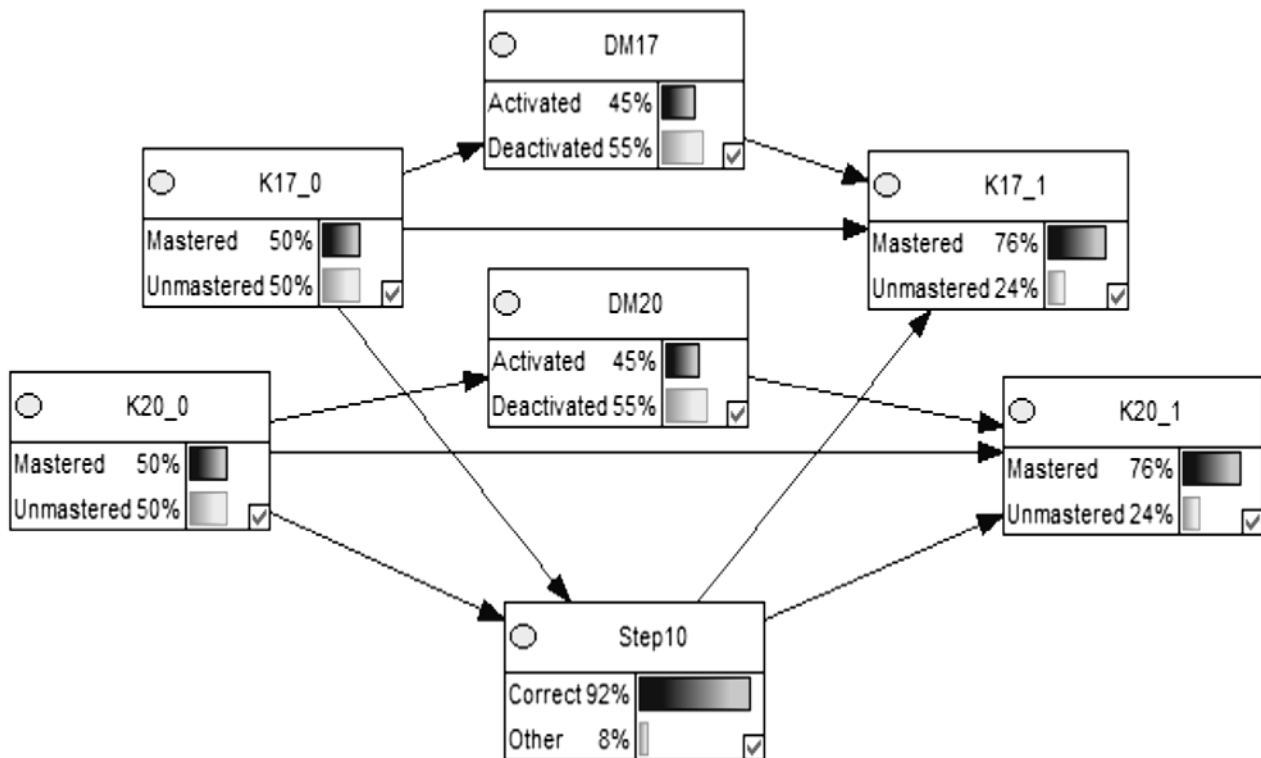
8. ДК має постійне відхилення 3.5 В, визначить клас і вид відмови.



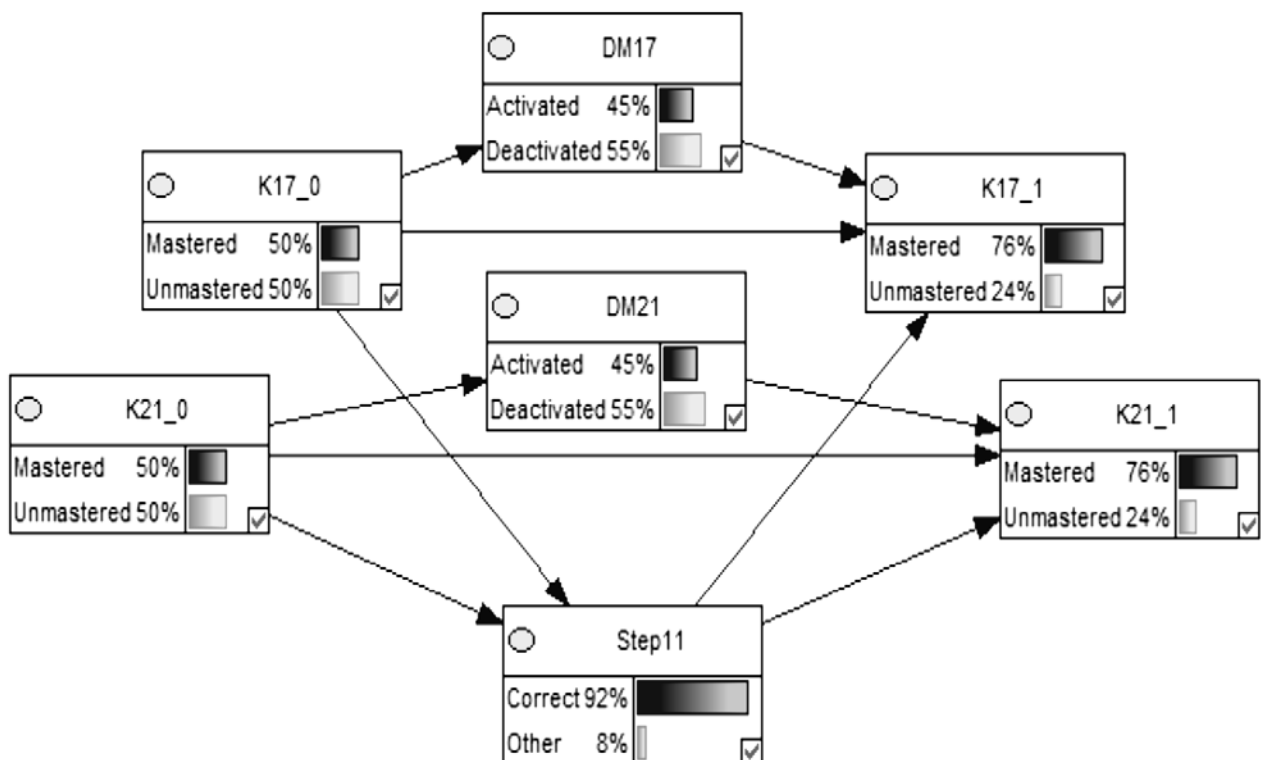
9. ДК має постійне відхилення 3 В, визначить клас і вид відмови.



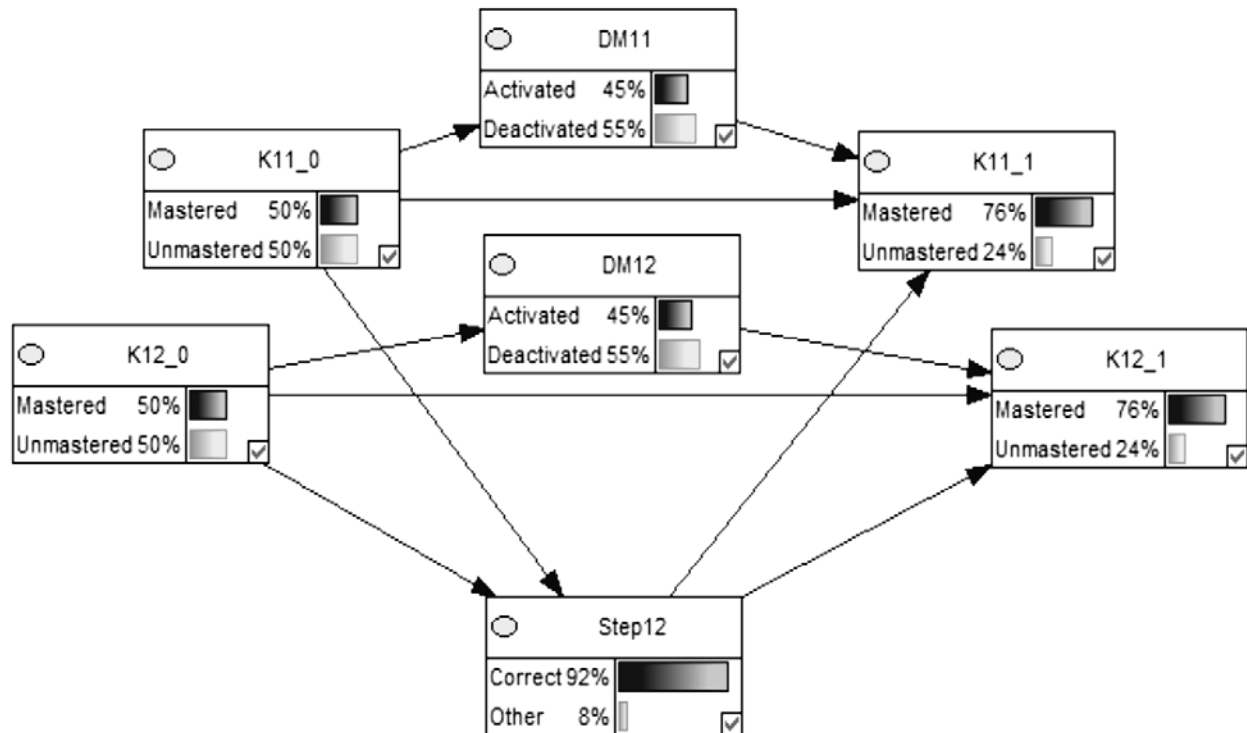
10. ДК має постійне відхилення -2.5 В, визначіть клас і вид відмови.



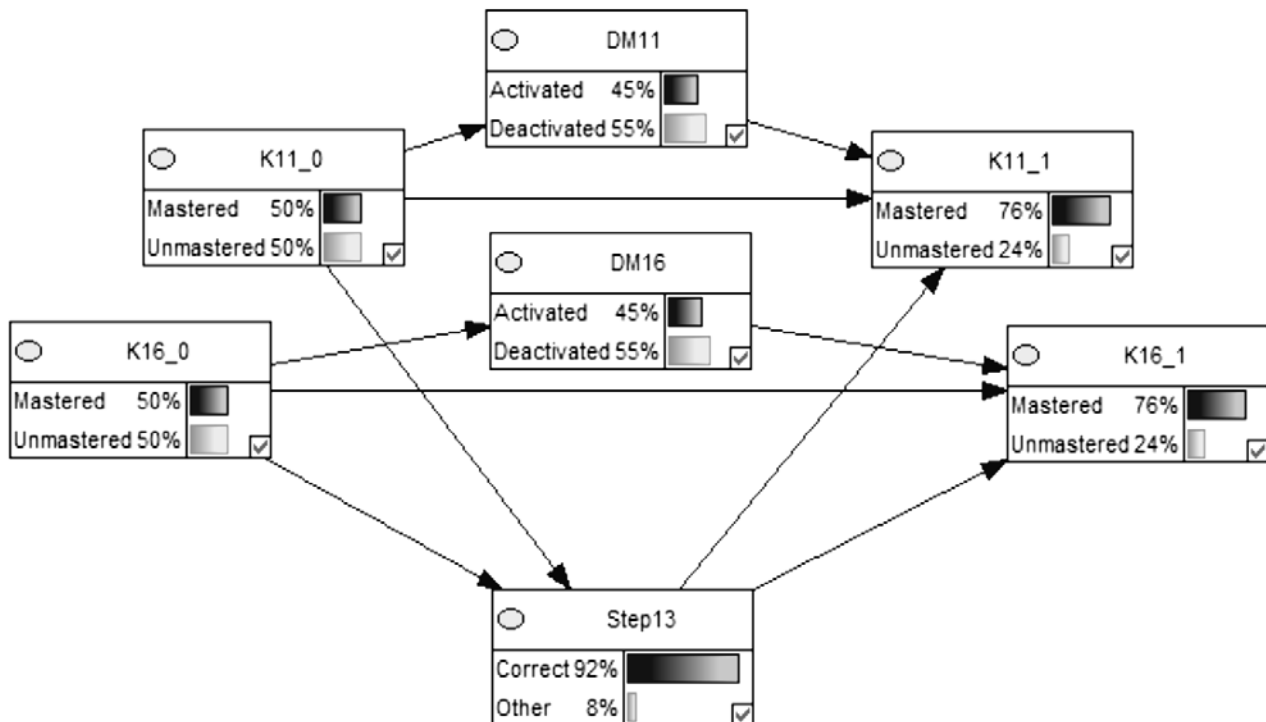
11. ДК має постійне відхилення -8 В, визначіть клас і вид відмови.



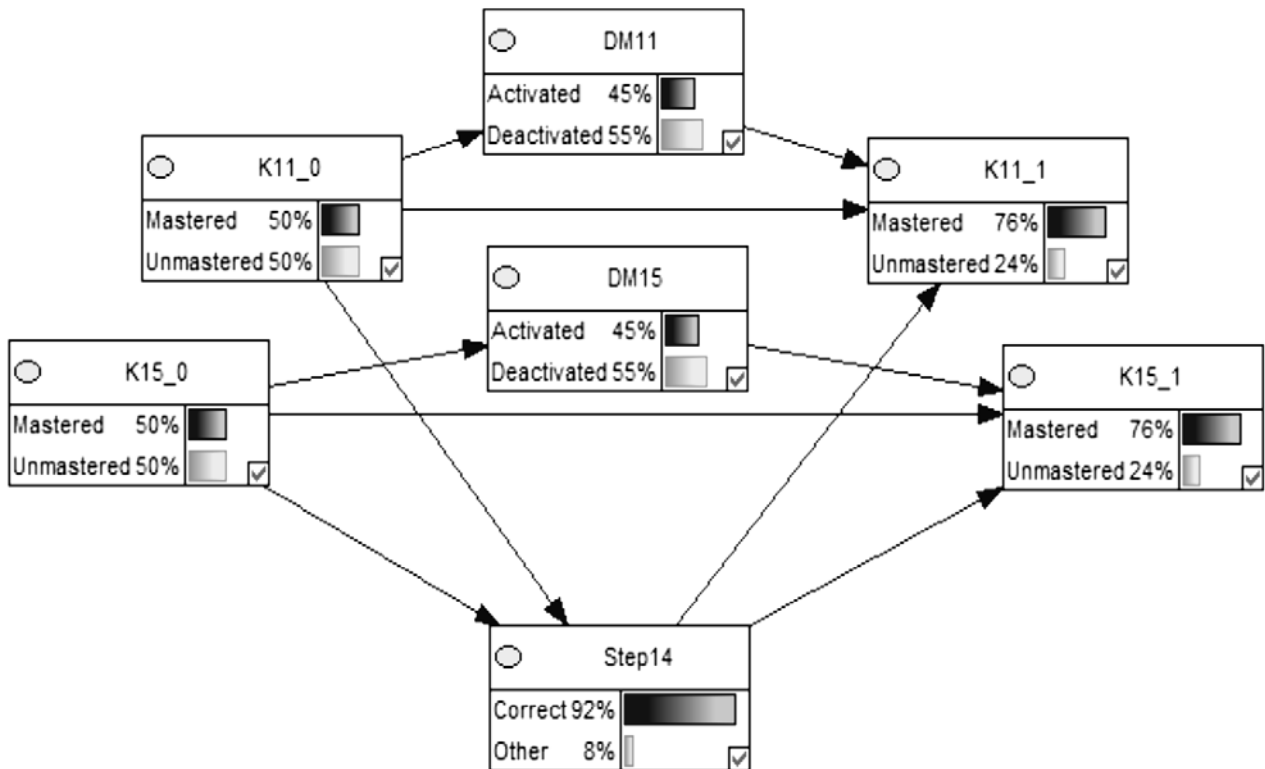
12. ДК має постійний сигнал виходу -15 В, визначіть клас і вид відмови.



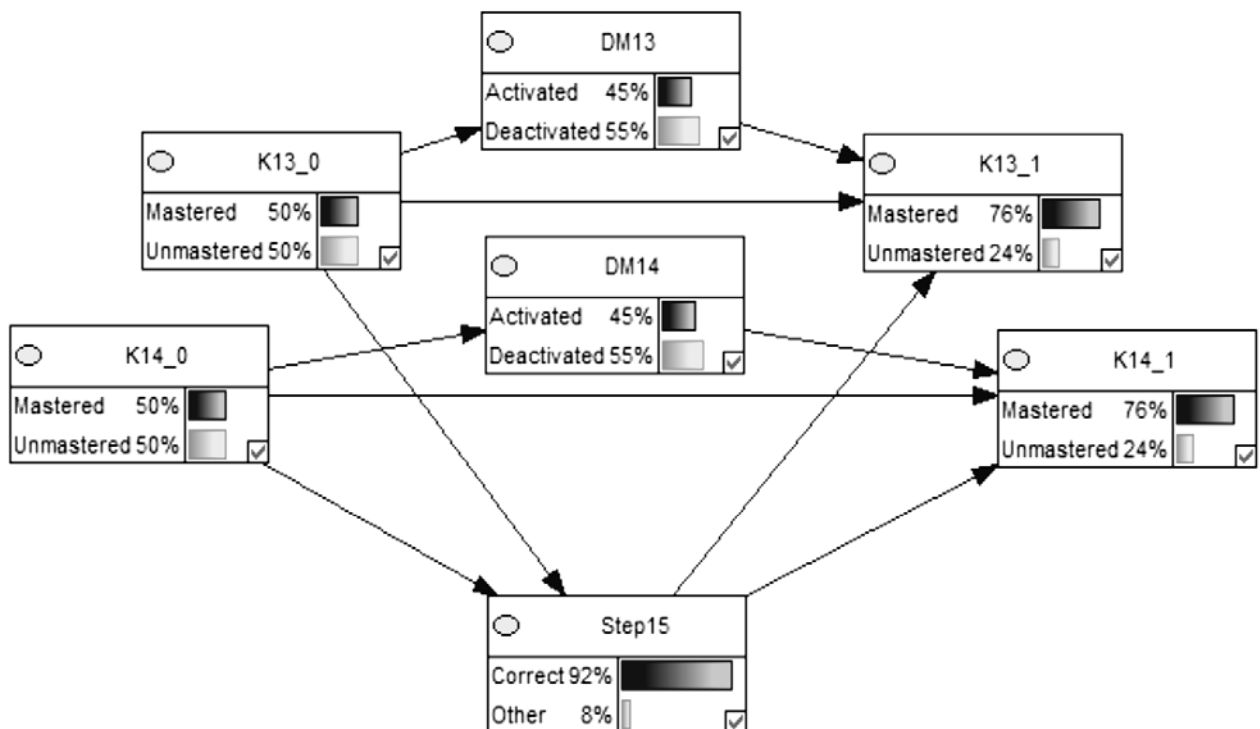
13. ДК має постійний сигнал виходу 15 В, визначіть клас і вид відмови.



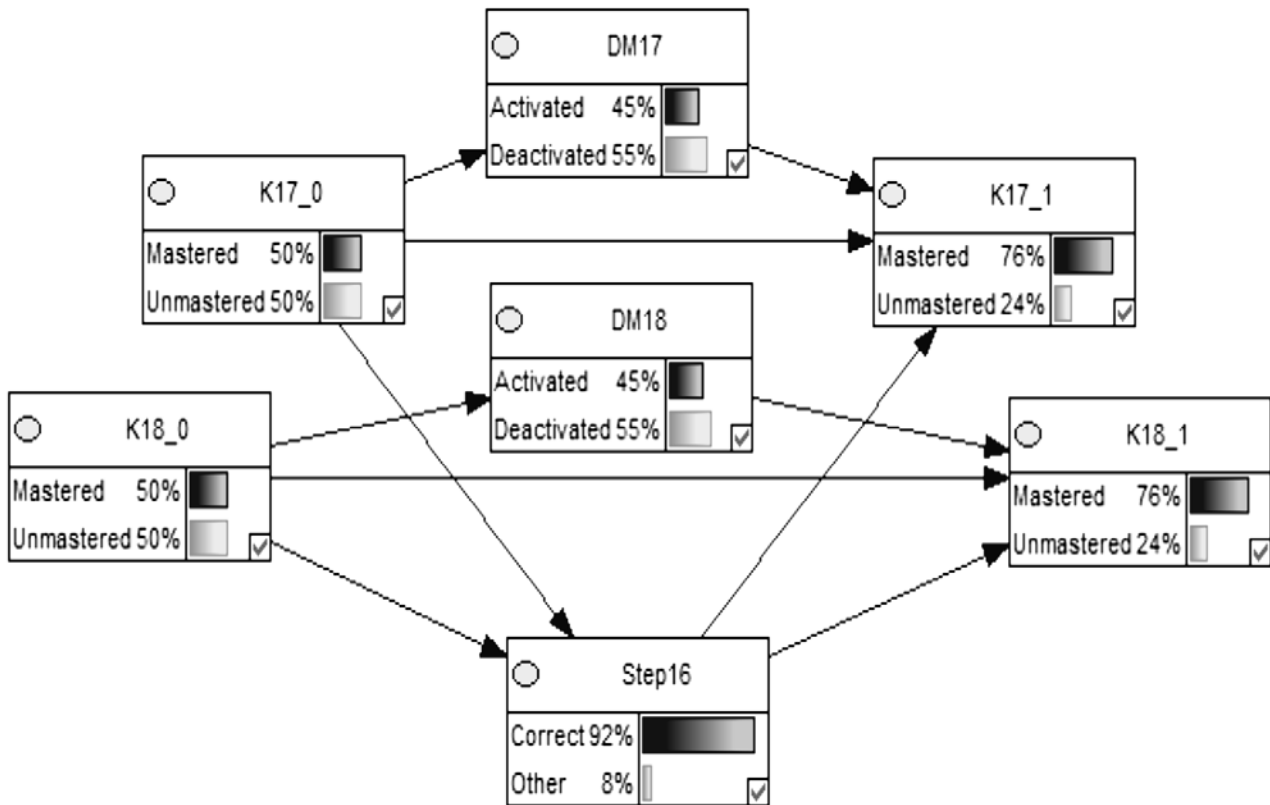
14. ДК має постійний сигнал виходу 0 В, визначіть клас і вид відмови.



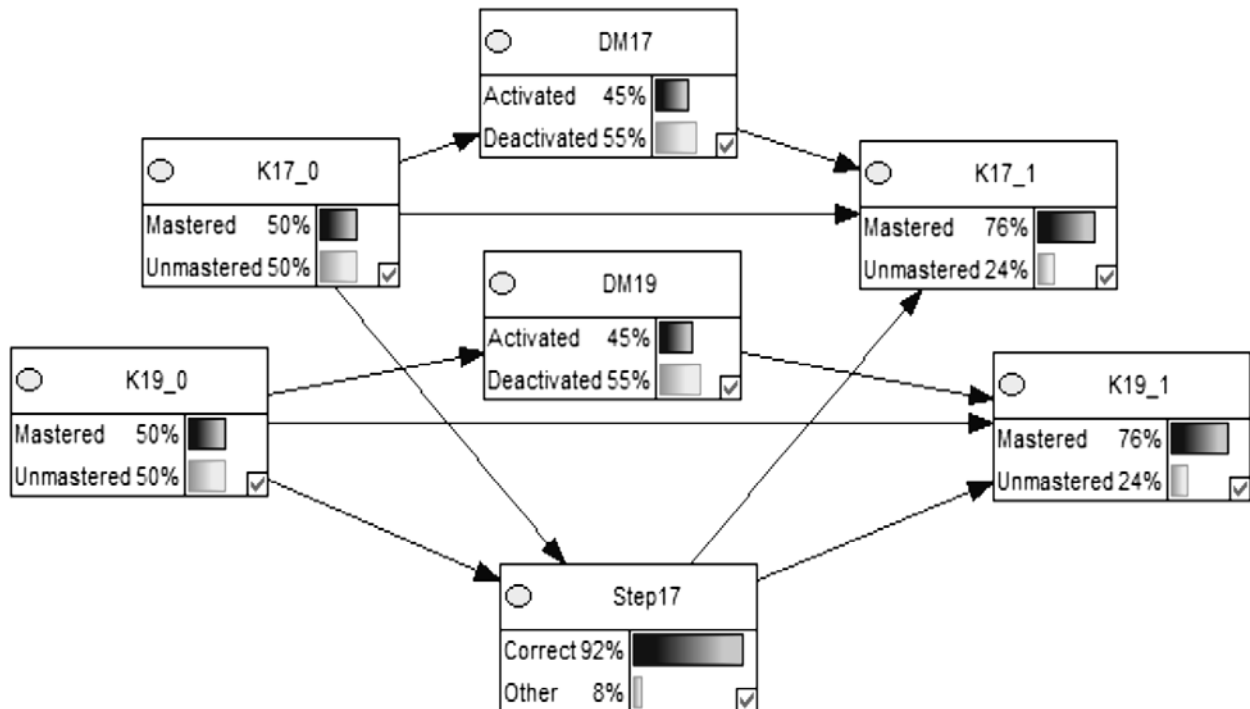
15. Величина сигналу ДКШ1 постійно зменшується на 1.43 В, визначіть клас і вид відмови.



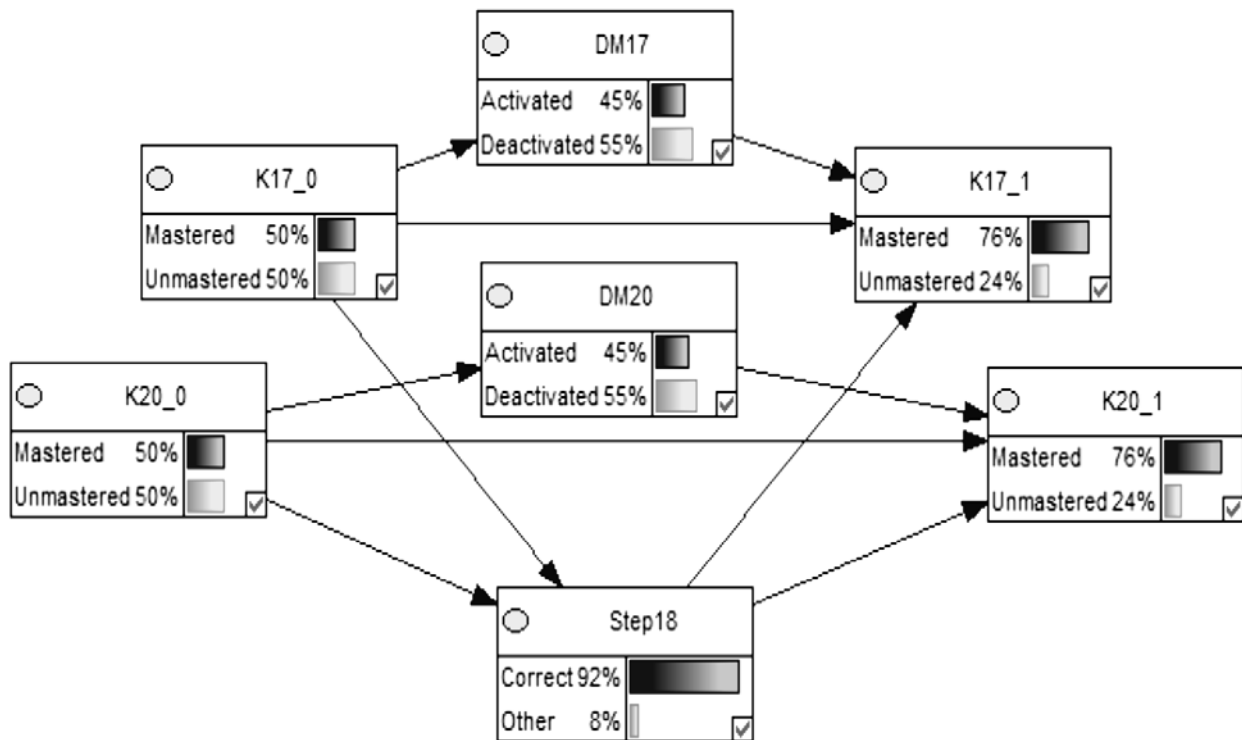
16. ДКШ1 має постійне відхилення 5 В, визначить клас і вид відмови.



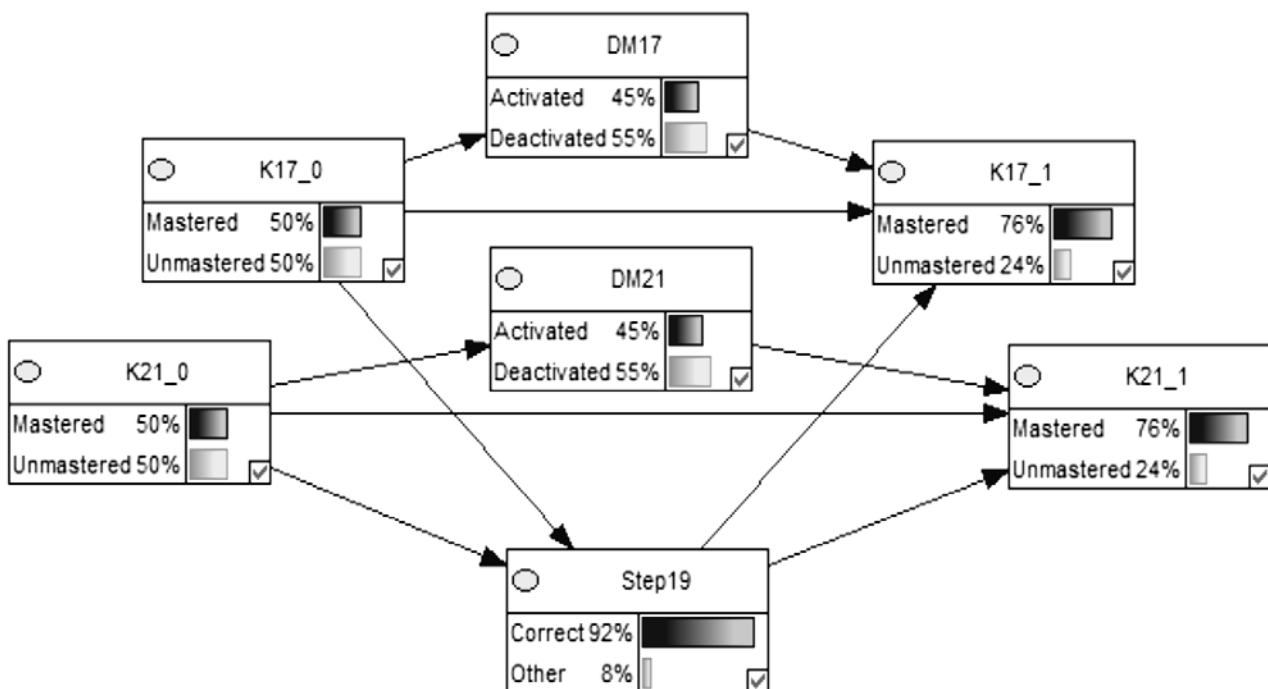
17. ДКШ1 має постійне відхилення 2 В, визначить клас і вид відмови.



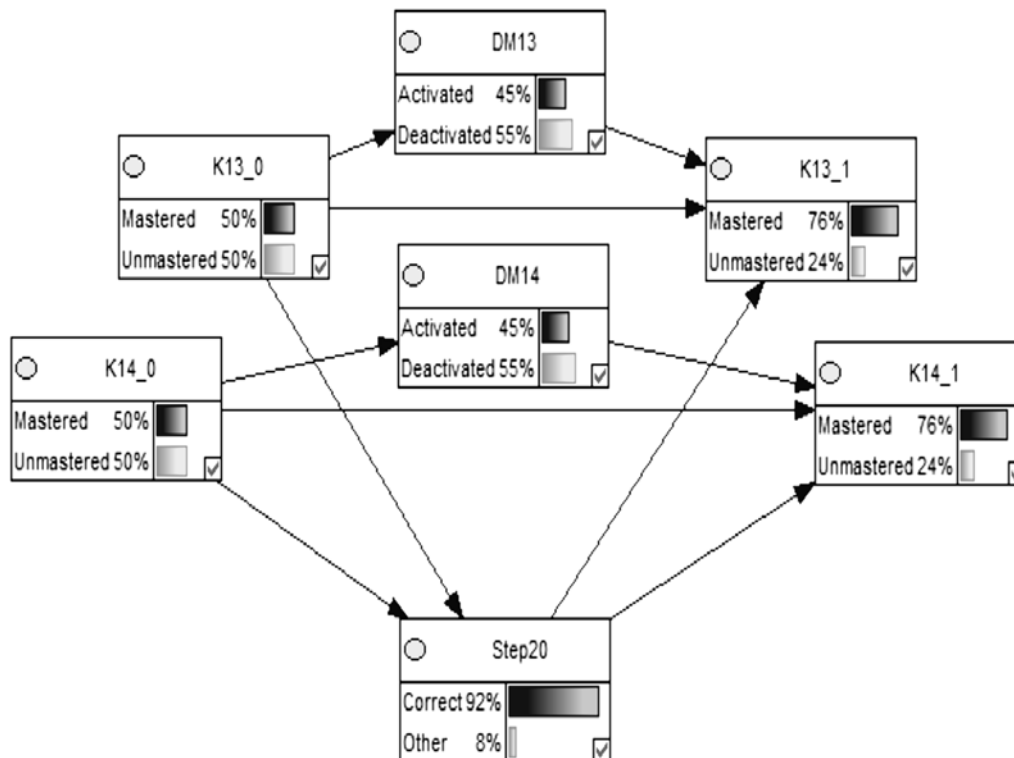
18. ДКШ1 має постійне відхилення -1.5 В, визначить клас і вид відмови.



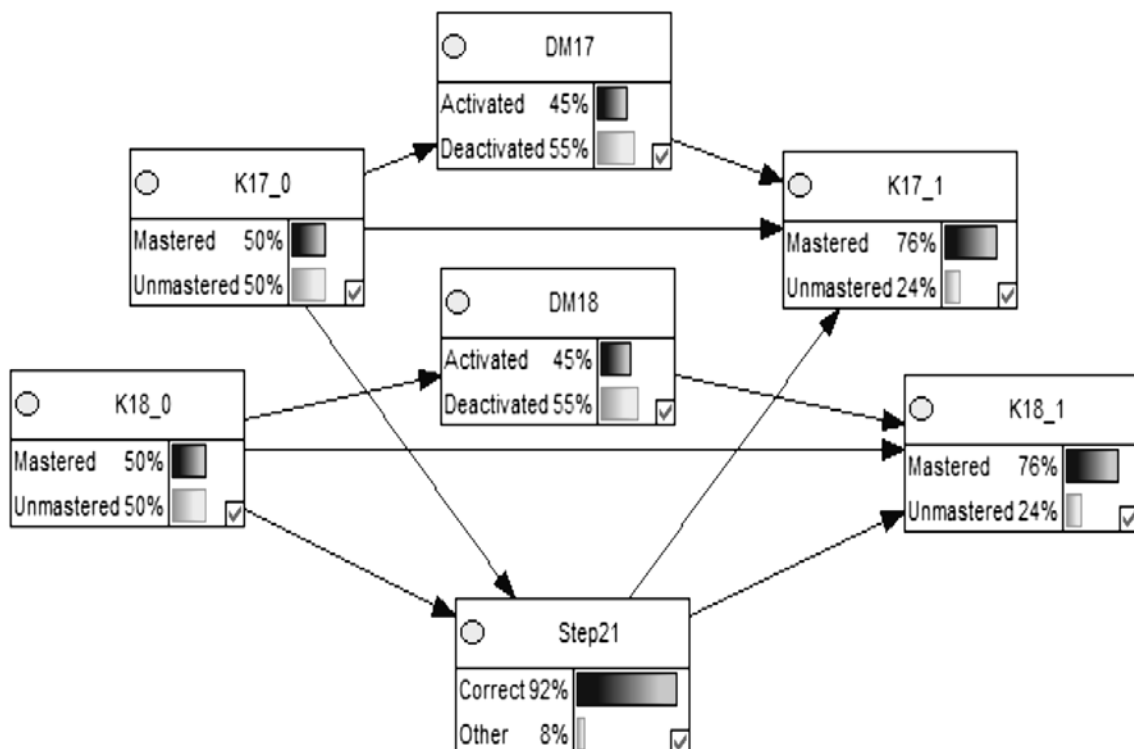
19. ДКШ1 має постійне відхилення -7 В, визначить клас і вид відмови.



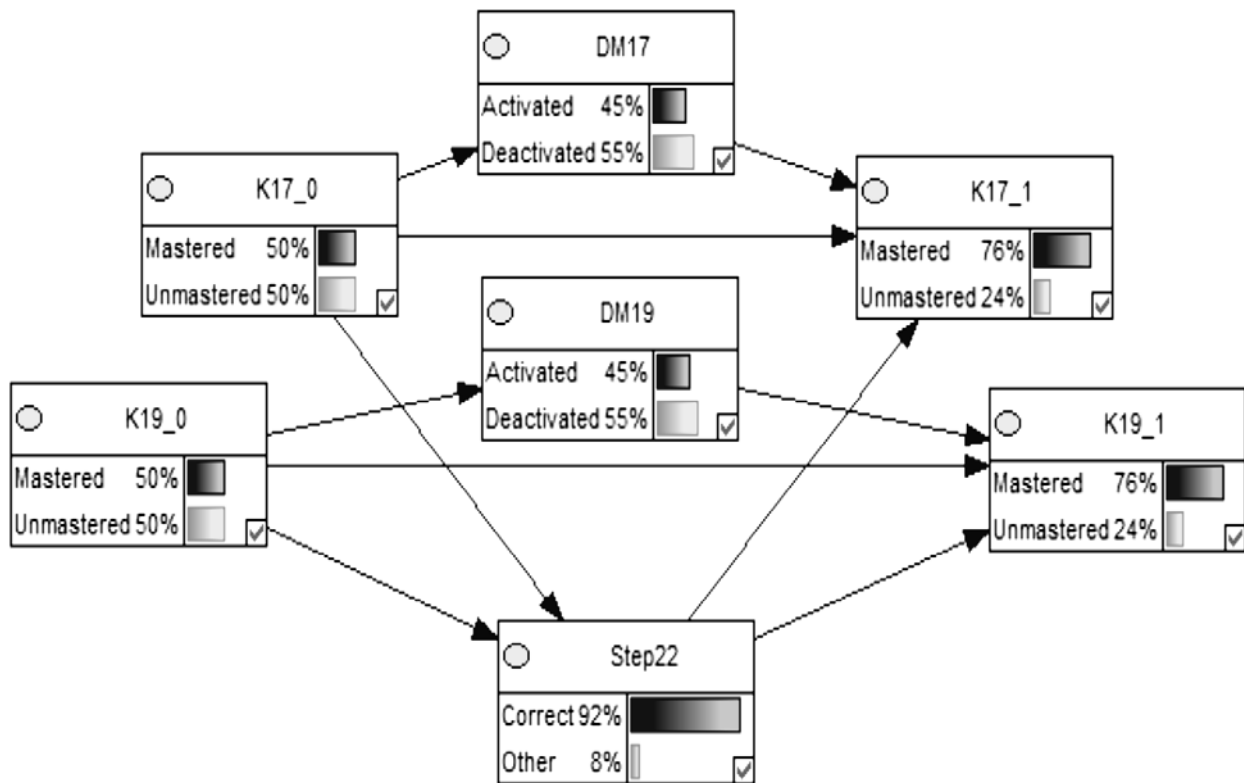
20. Величина сигналу ДКШ2 постійно зменшується на 1.25 В, визначіть клас і вид відмови.



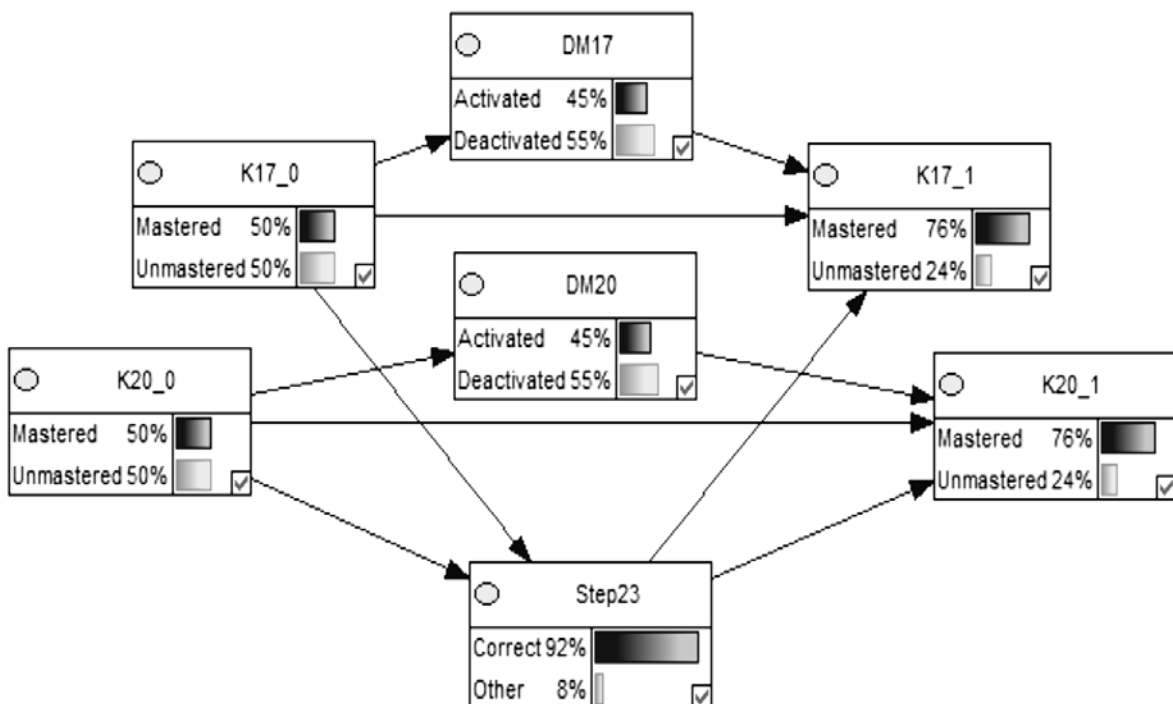
21. ДКШ2 має постійне відхилення 4.3 В, визначіть клас і вид відмови.



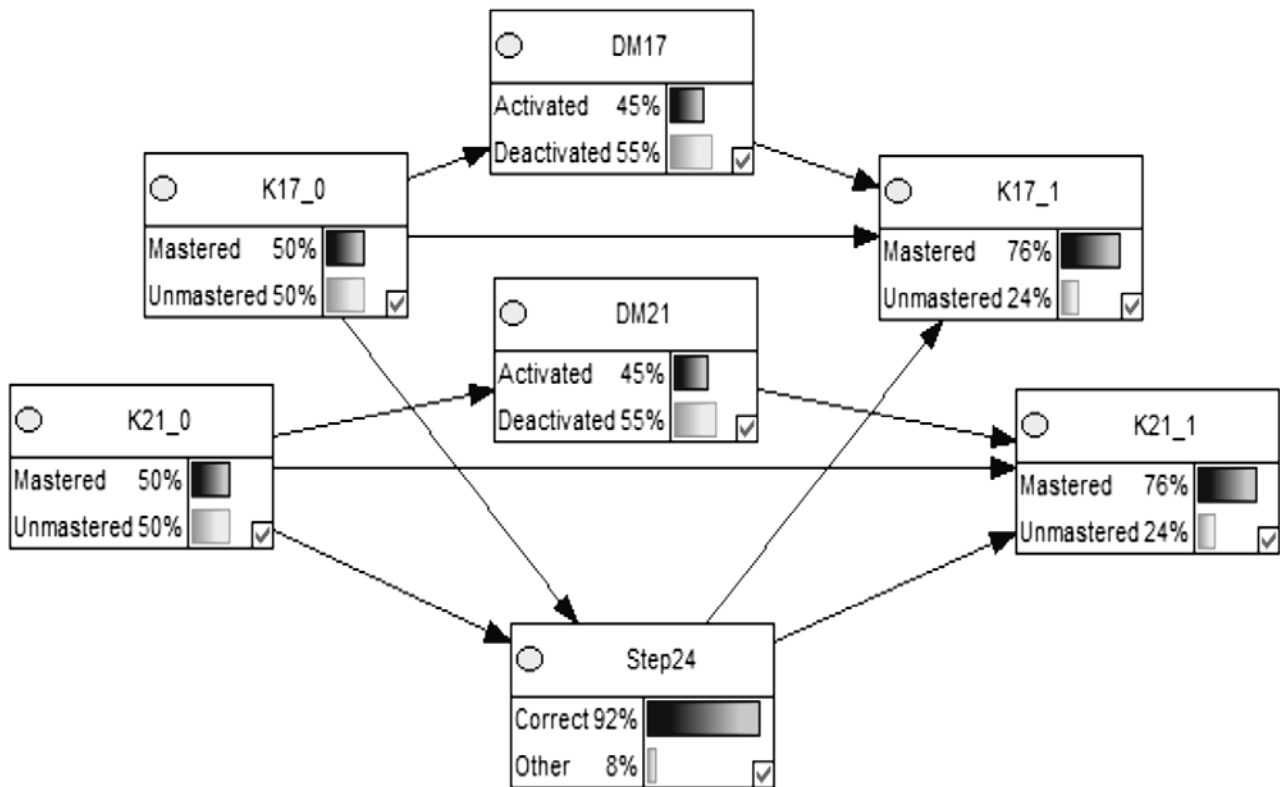
22. ДКШ2 має постійне відхилення 2 В, визначіть клас і вид відмови.



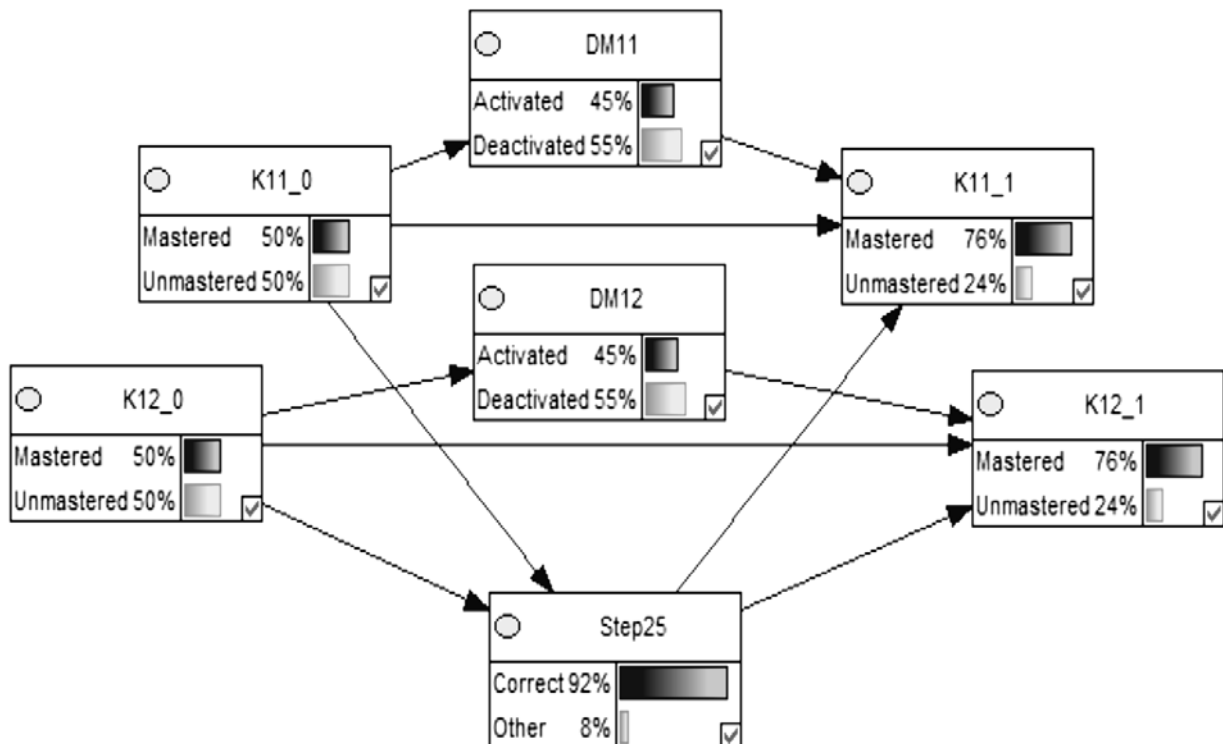
23. ДУС2 має постійне відхилення -1.5 В, визначіть клас і вид відмови.



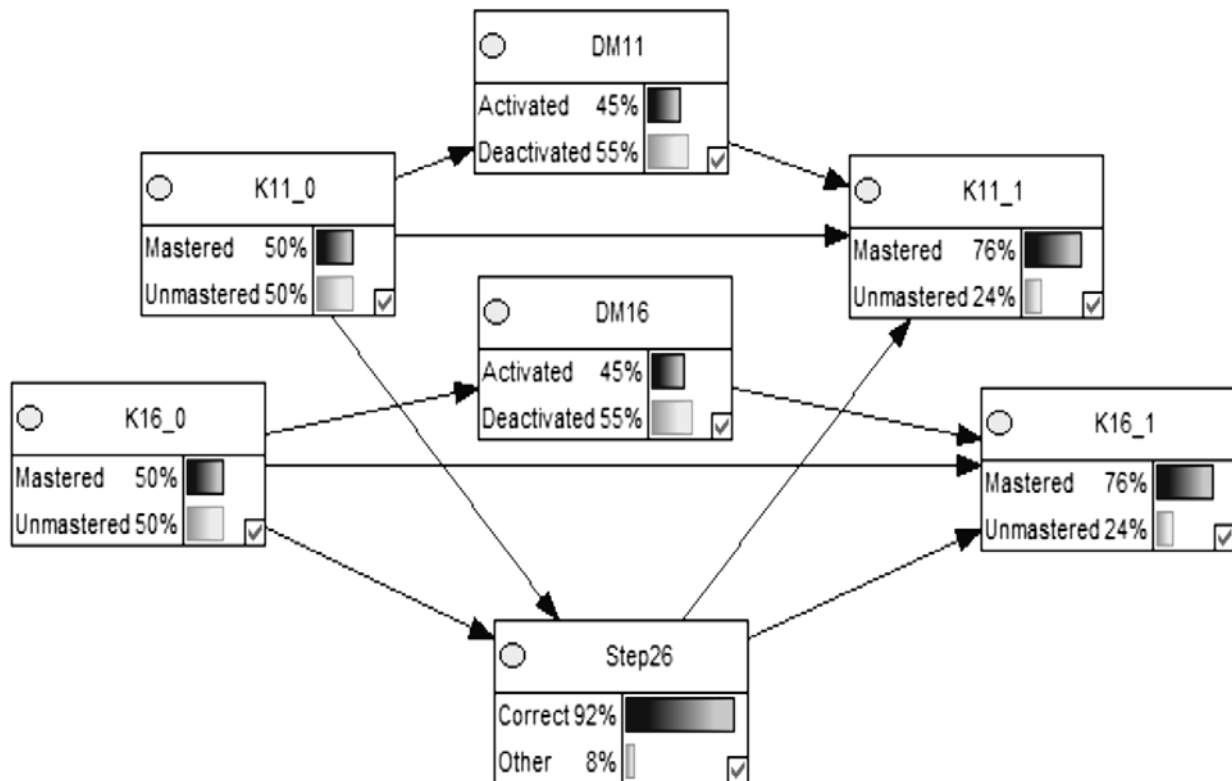
24. ДКШ2 має постійне відхилення -4.8 В, визначить клас і вид відмови.



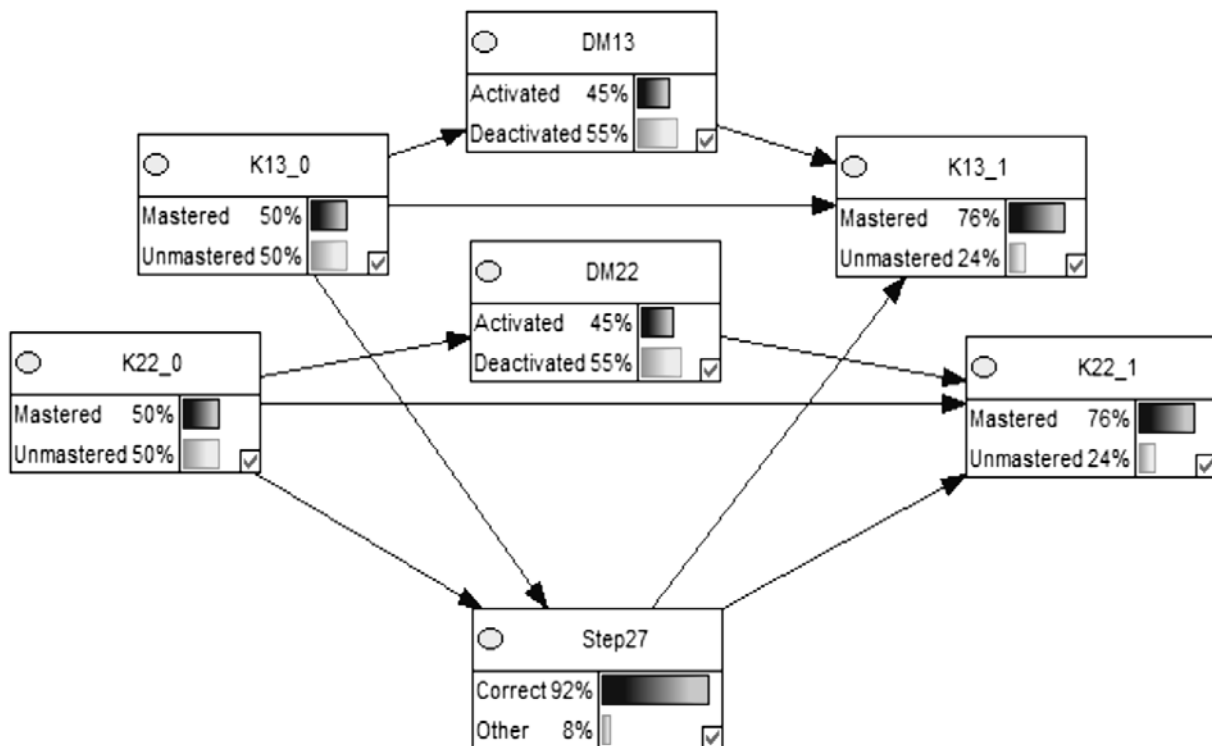
25. ДКШ2 має постійний сигнал виходу -15 В, визначить клас і вид відмови.



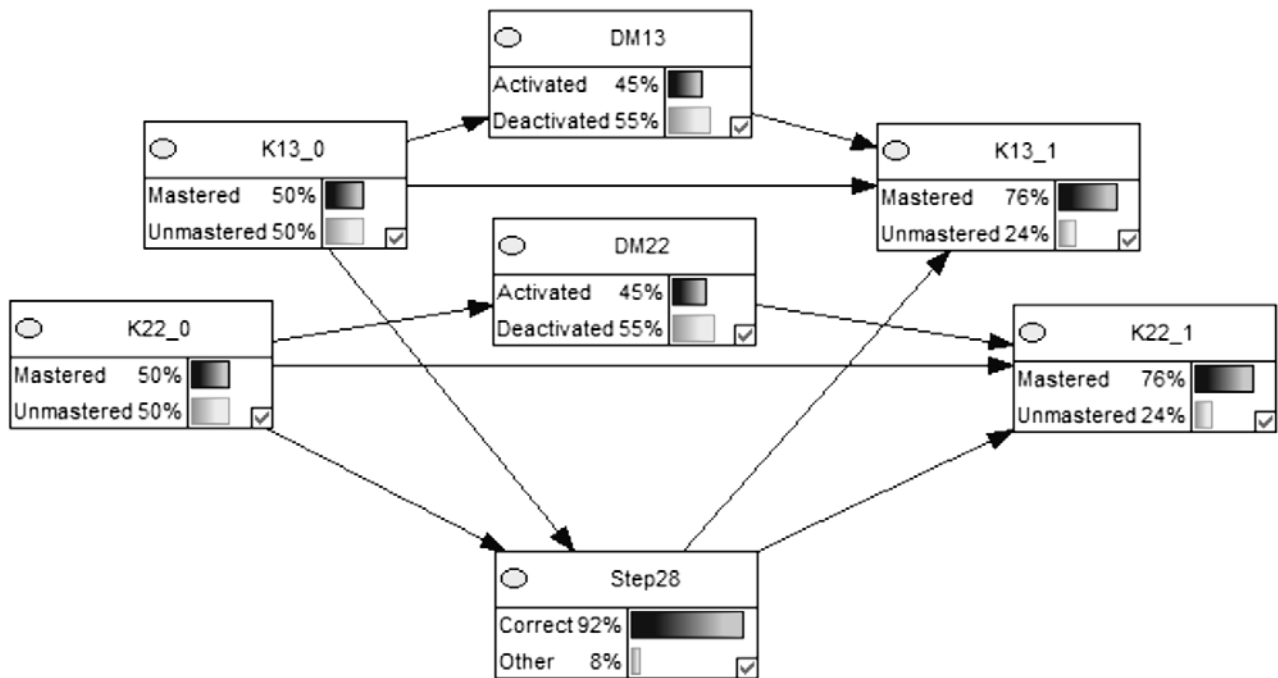
26. ДКШ2 має постійний сигнал виходу 15 В, визначить клас і вид відмови.



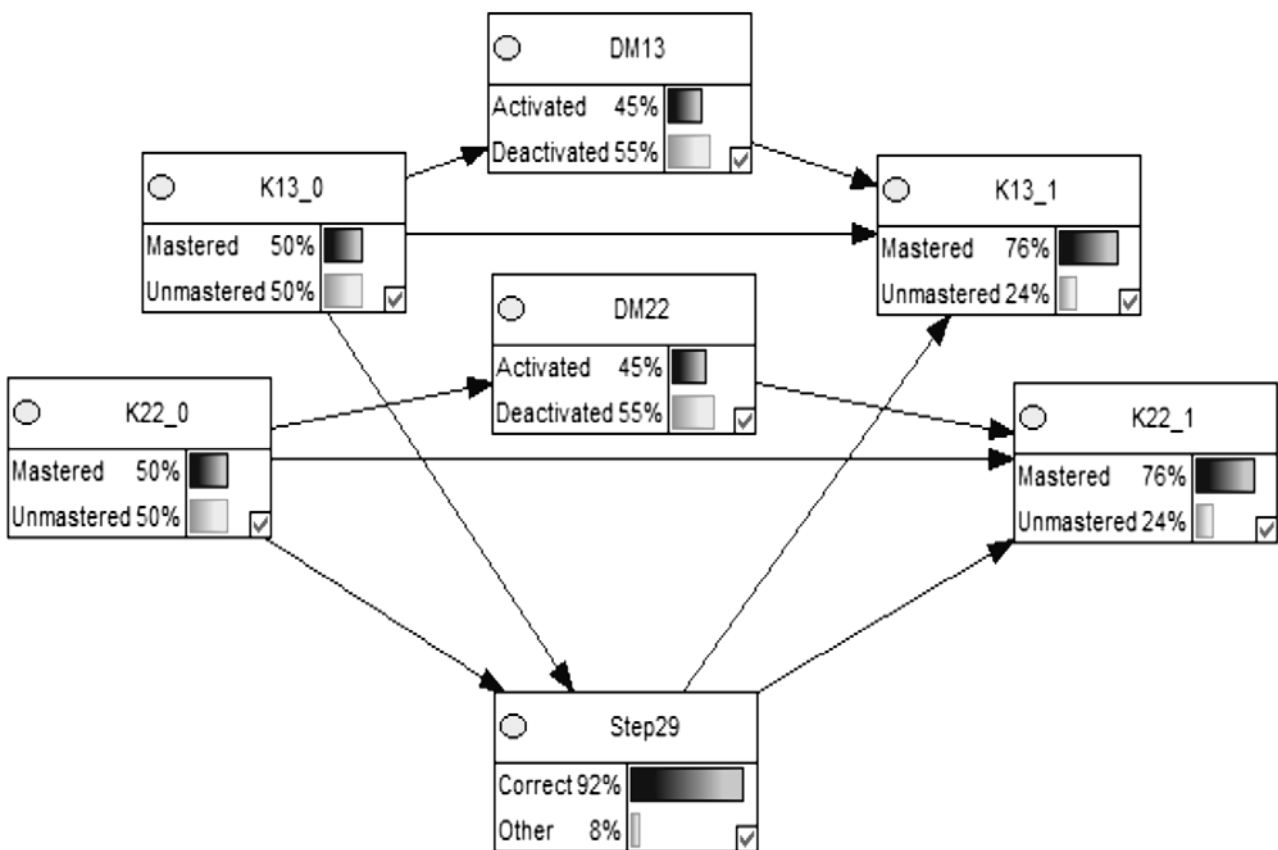
27. Визначить клас і вид відмови в ДК згідно з рисунком.



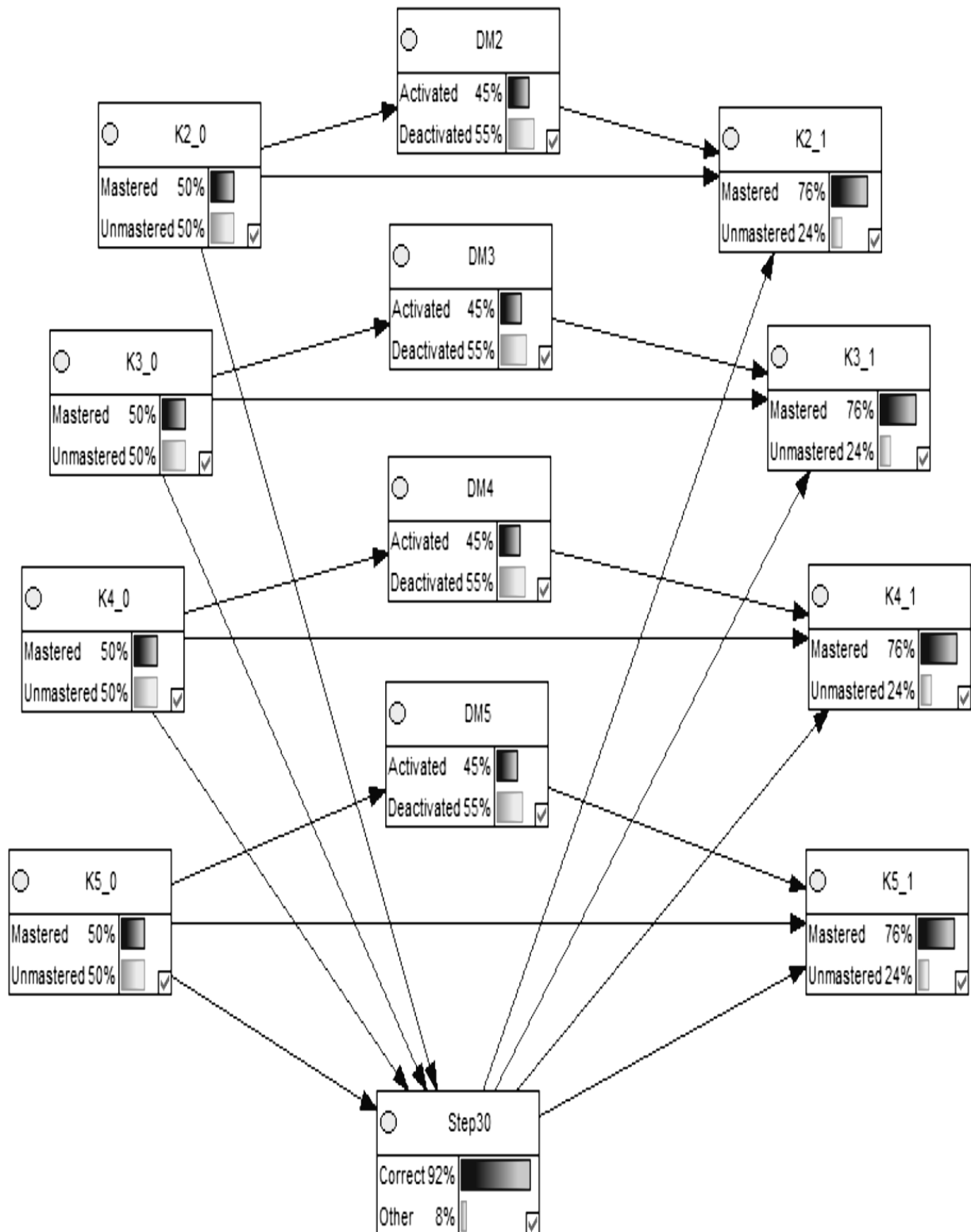
28. Визначіть клас і вид відмови в ДКШ1 згідно з рисунком.



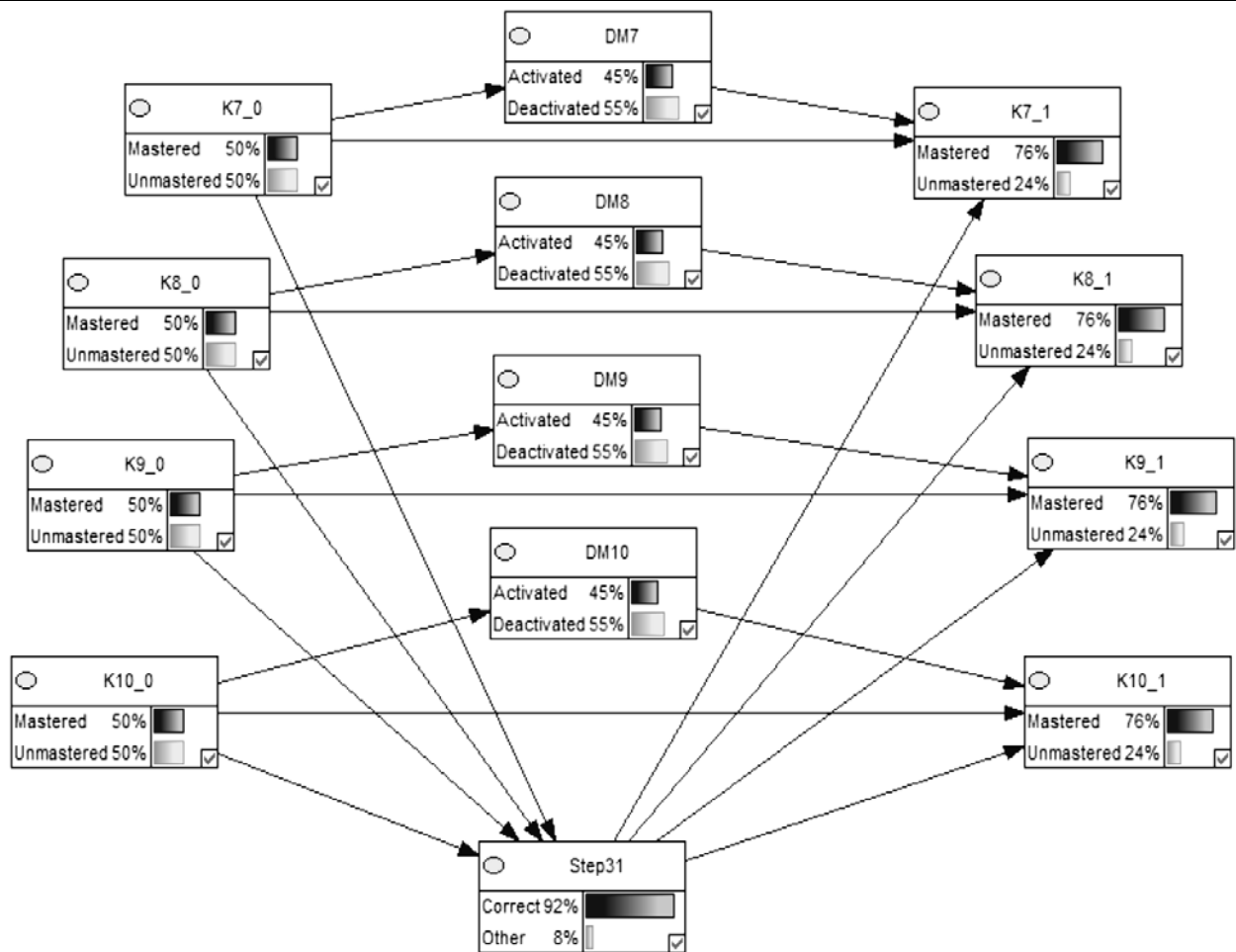
29. Визначіть клас і вид відмови в ДКШ2 згідно з рисунком.



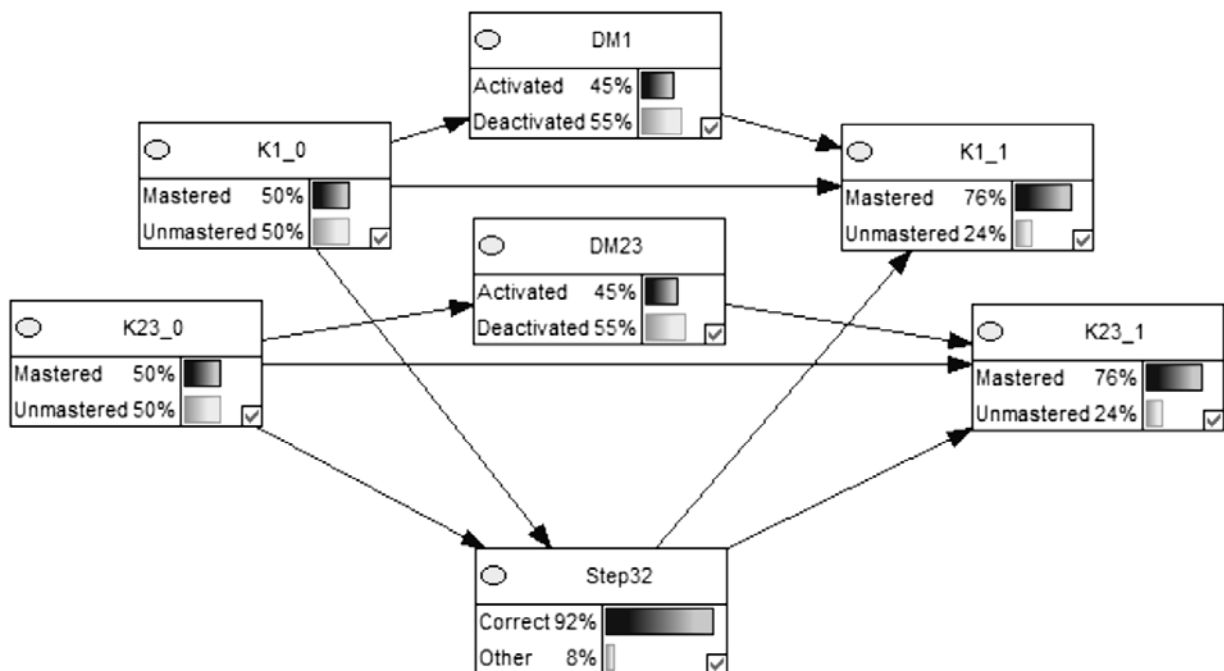
30. Виберіть фігуру, яка відповідає статичним характеристикам ДК.



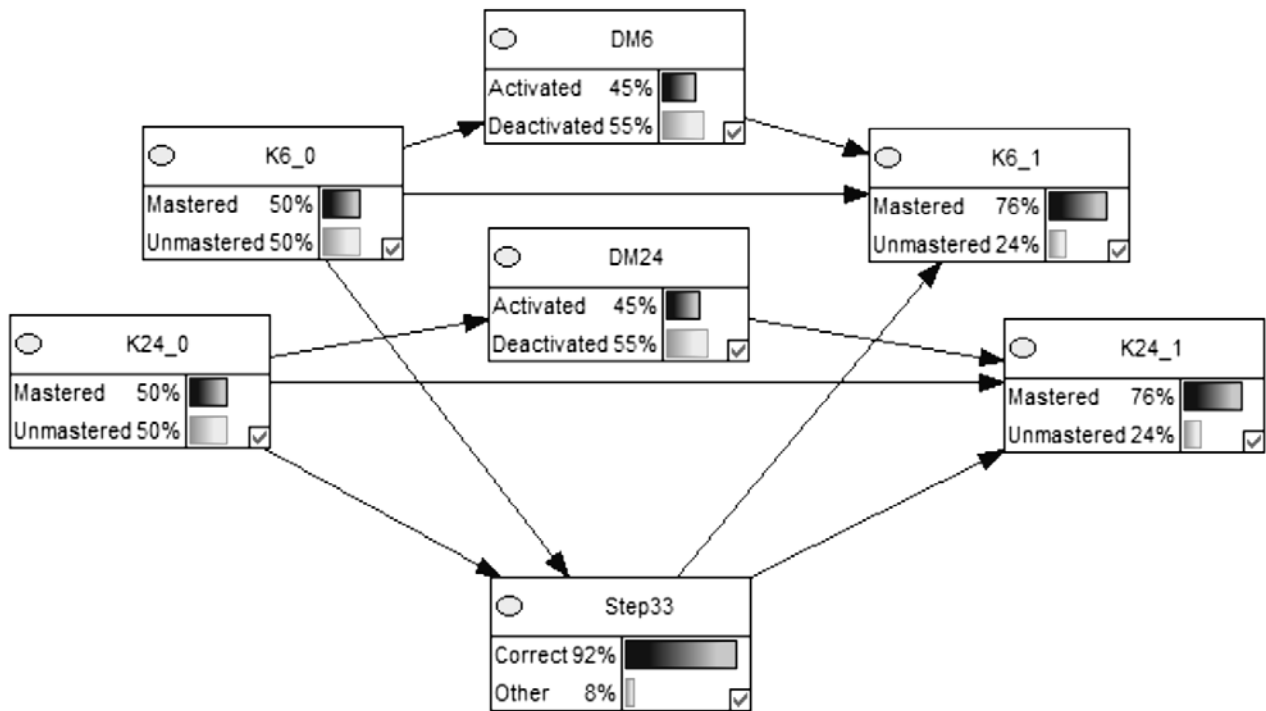
31. Виберіть фігуру, яка відповідає статичним характеристикам ДКШ1 і ДКШ2.



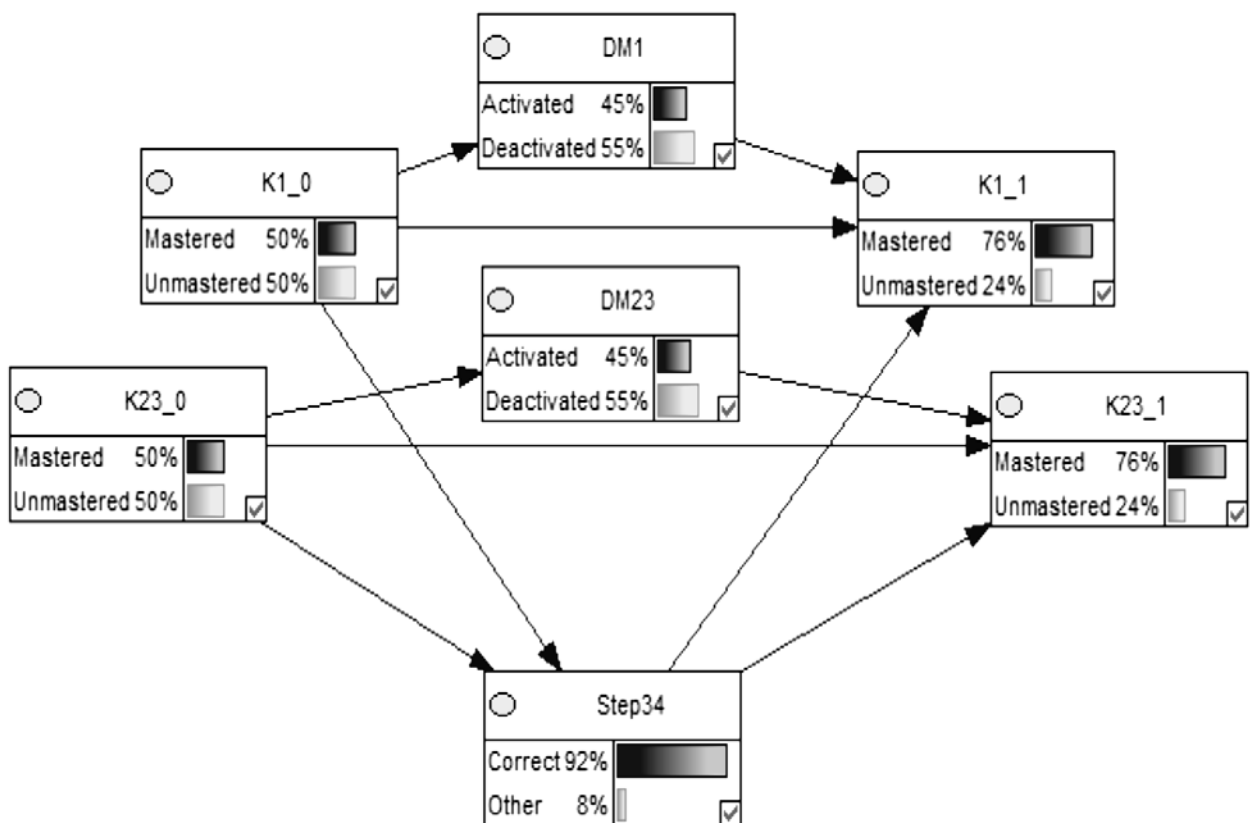
32. Розрахуйте вихідну напругу в ДК, якщо кут нахилу дорівнює 95° .



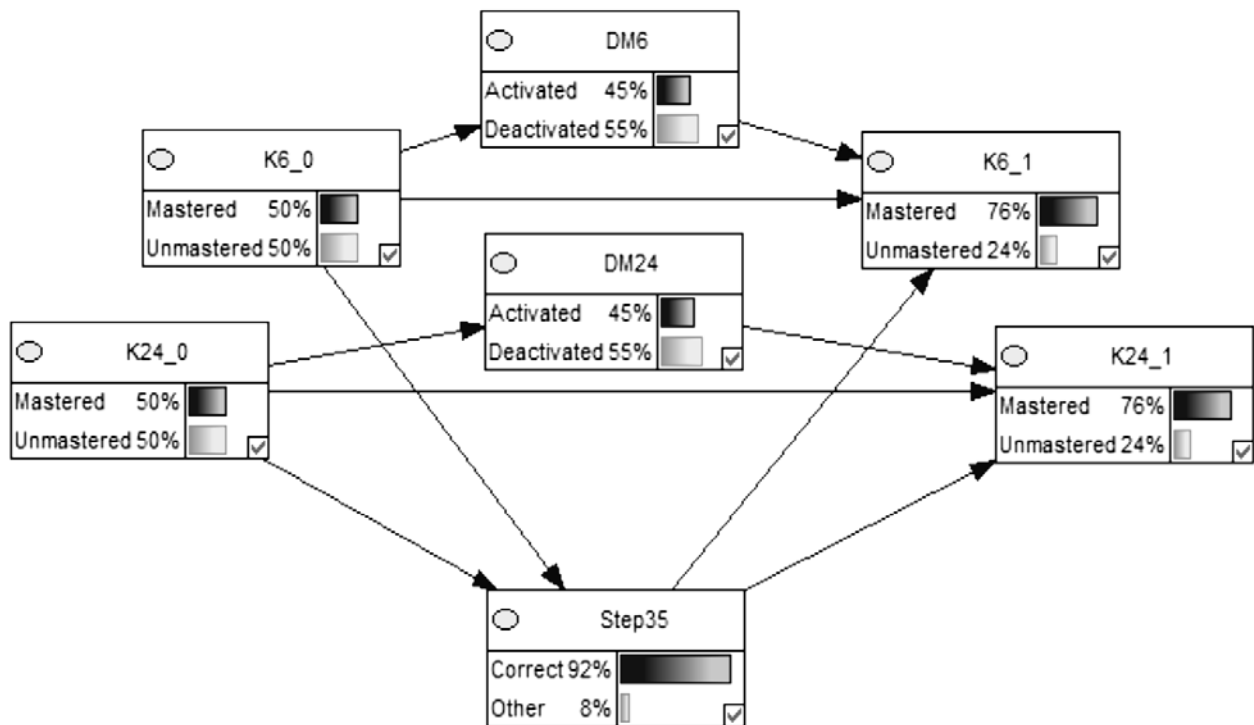
33. Розрахуйте вихідну напругу ДКШ, якщо кут нахилу дорівнює 5° .



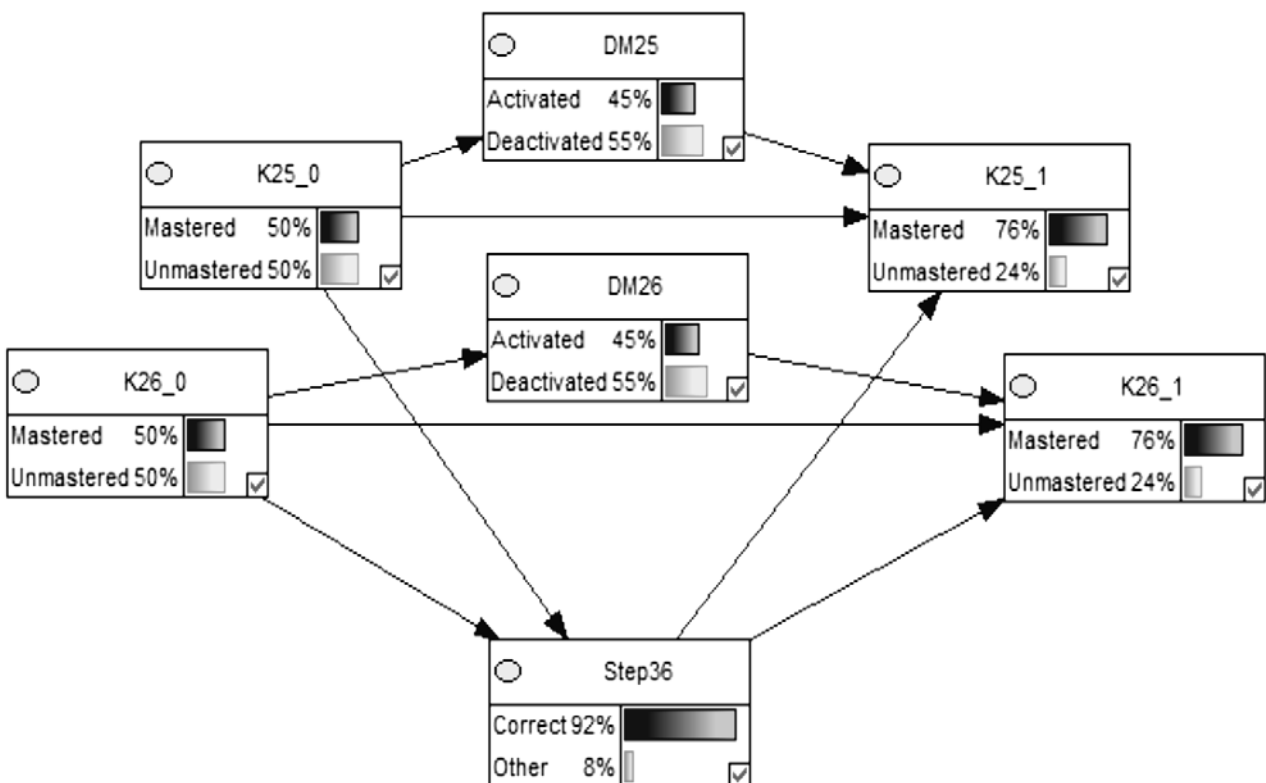
34. Розрахуйте кут нахилу ДК, якщо вихідна напруга дорівнює 5 В.



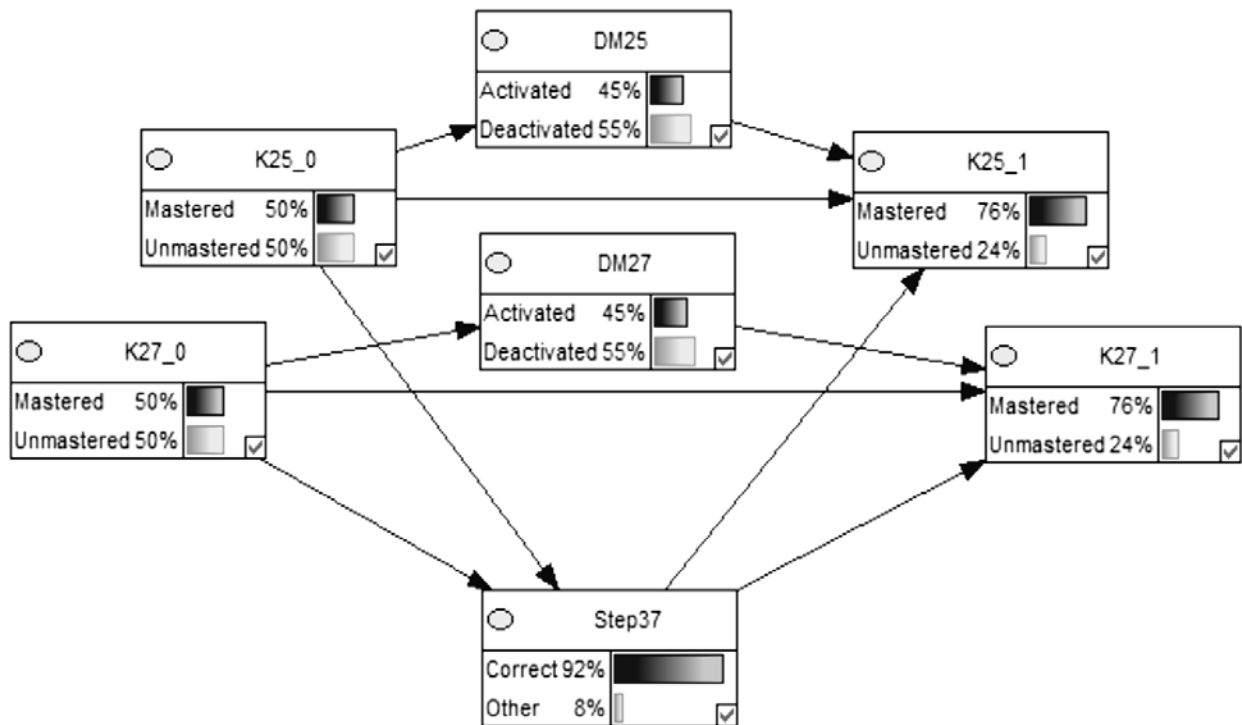
35. Розрахуйте кутову швидкість ДКШ, якщо вихідна напруга дорівнює -1 В.



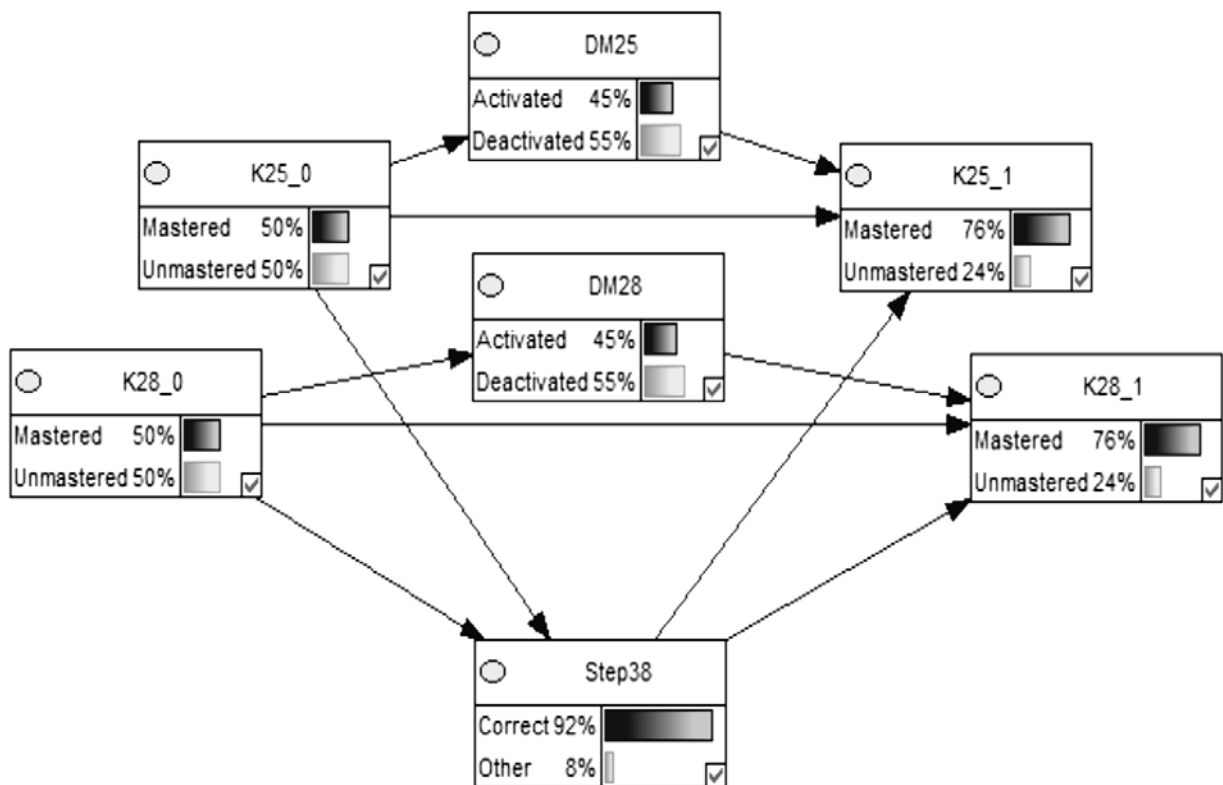
36. Визначіть стан ознак S, якщо відмова відбулася в ДКШ2.



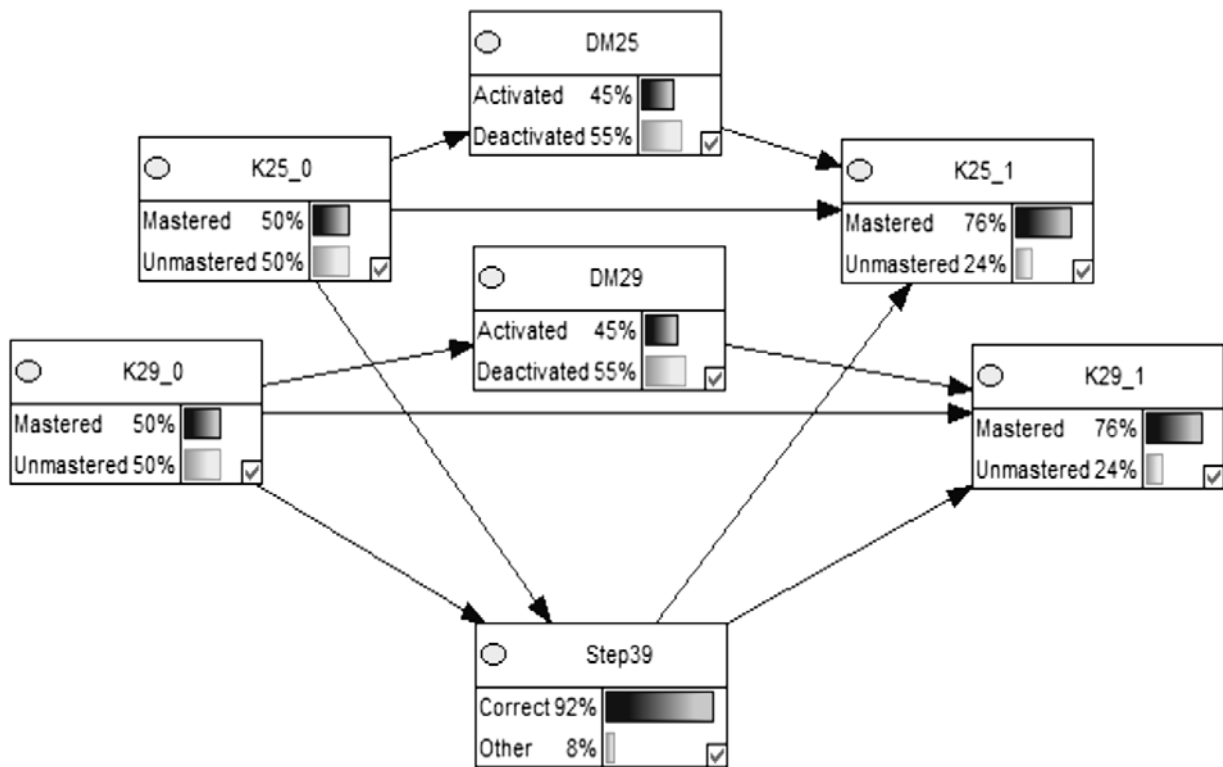
37. Визначить стан ознак S, якщо відмова відбулася в ДКШ1.



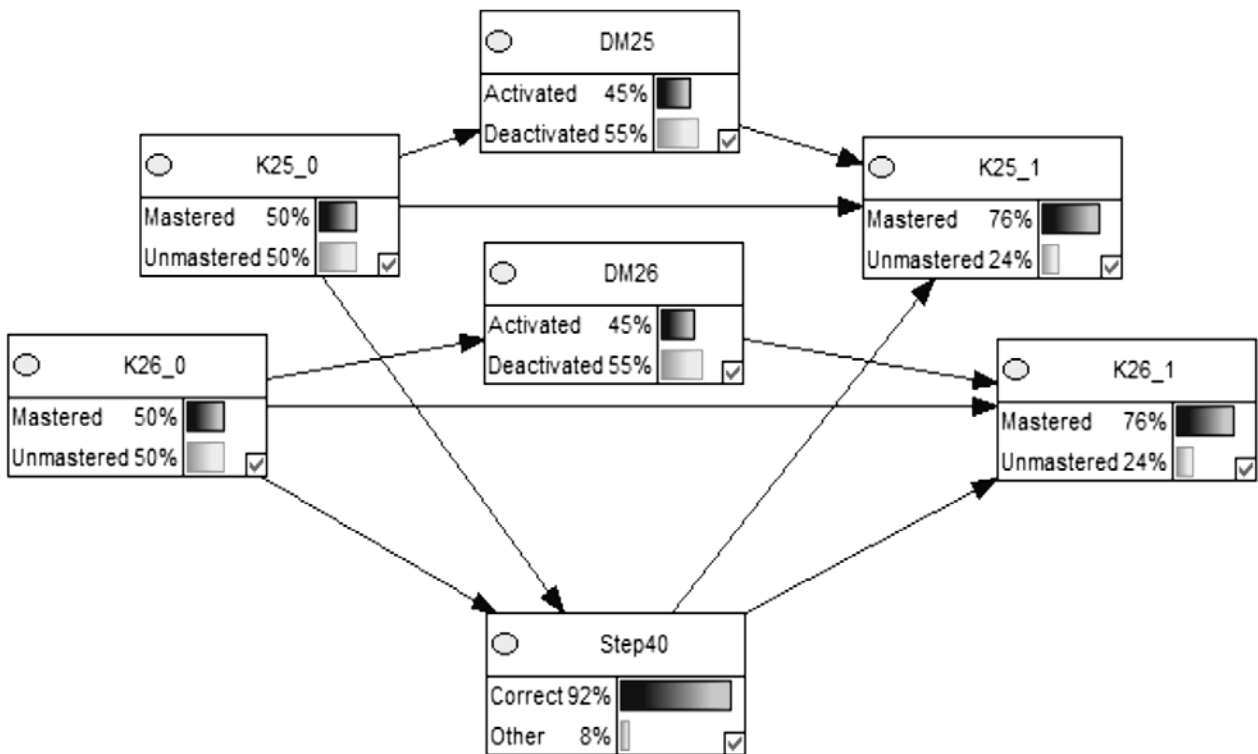
38. Визначить стан ознак S, якщо відмова відбулася в ДК.



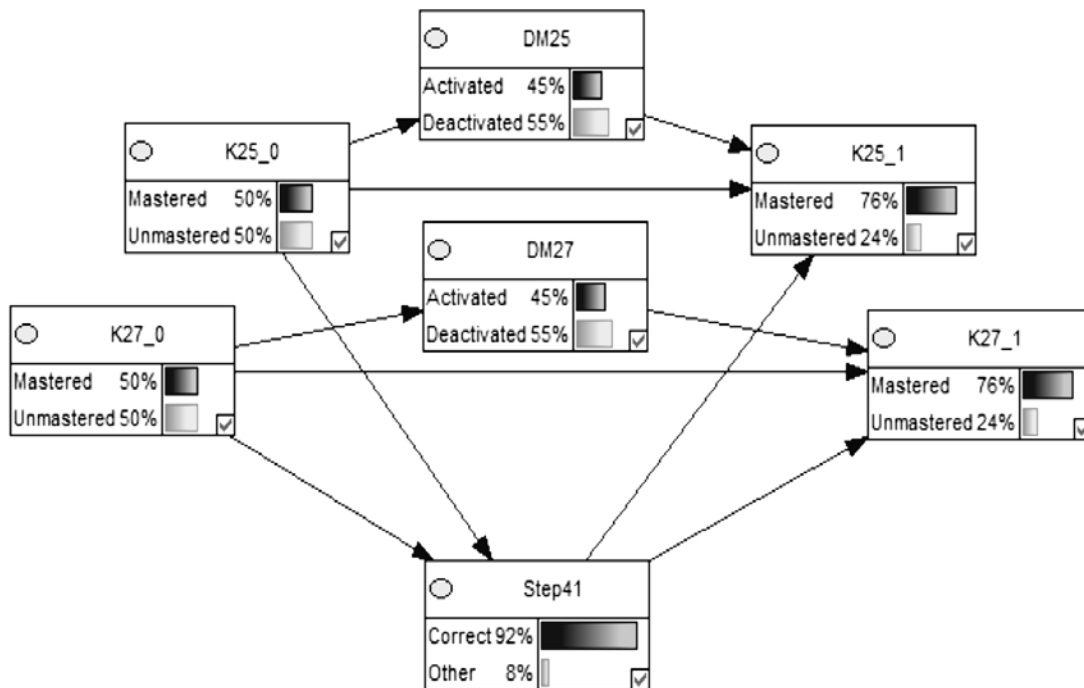
39. Визначить стан ознак S, якщо відмови відбулися в ДКШ1 і ДК.



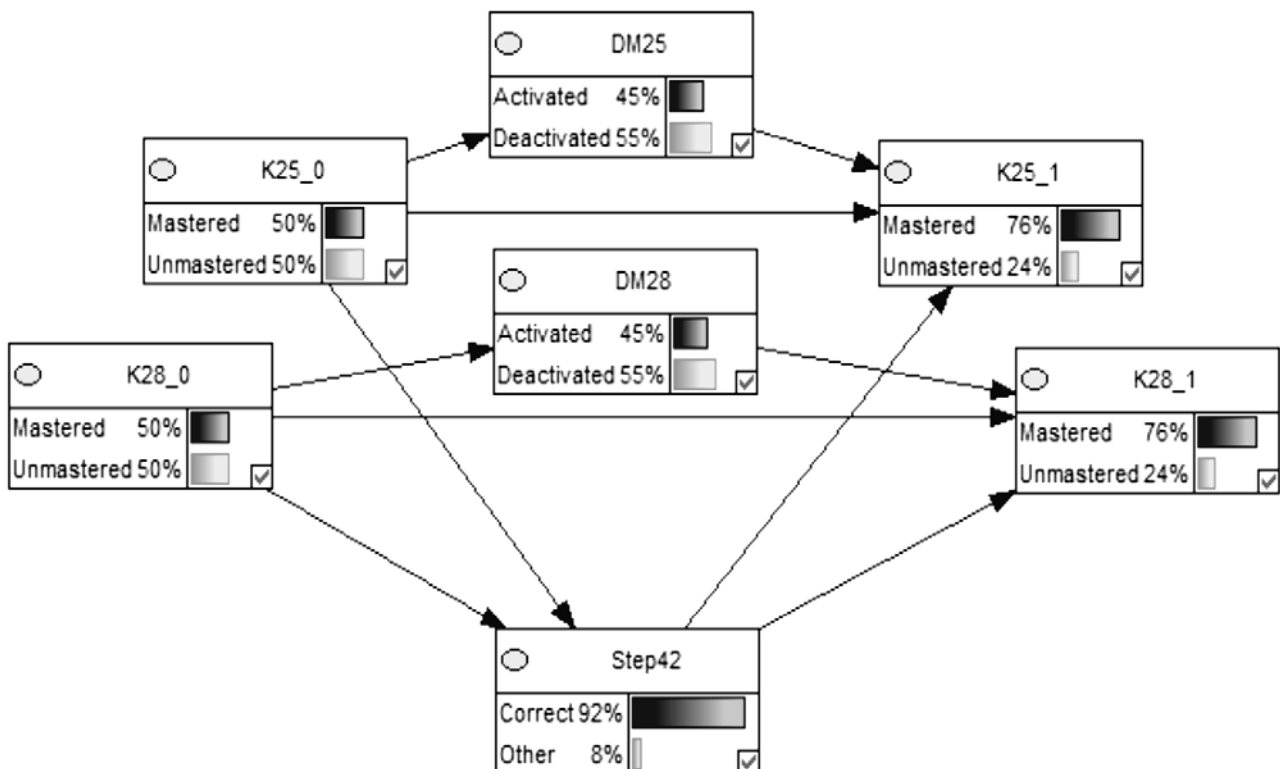
40. Визначить несправний датчик, якщо ознаки $S1 = 0$, $S2 = 1$ і $S3 = 1$.



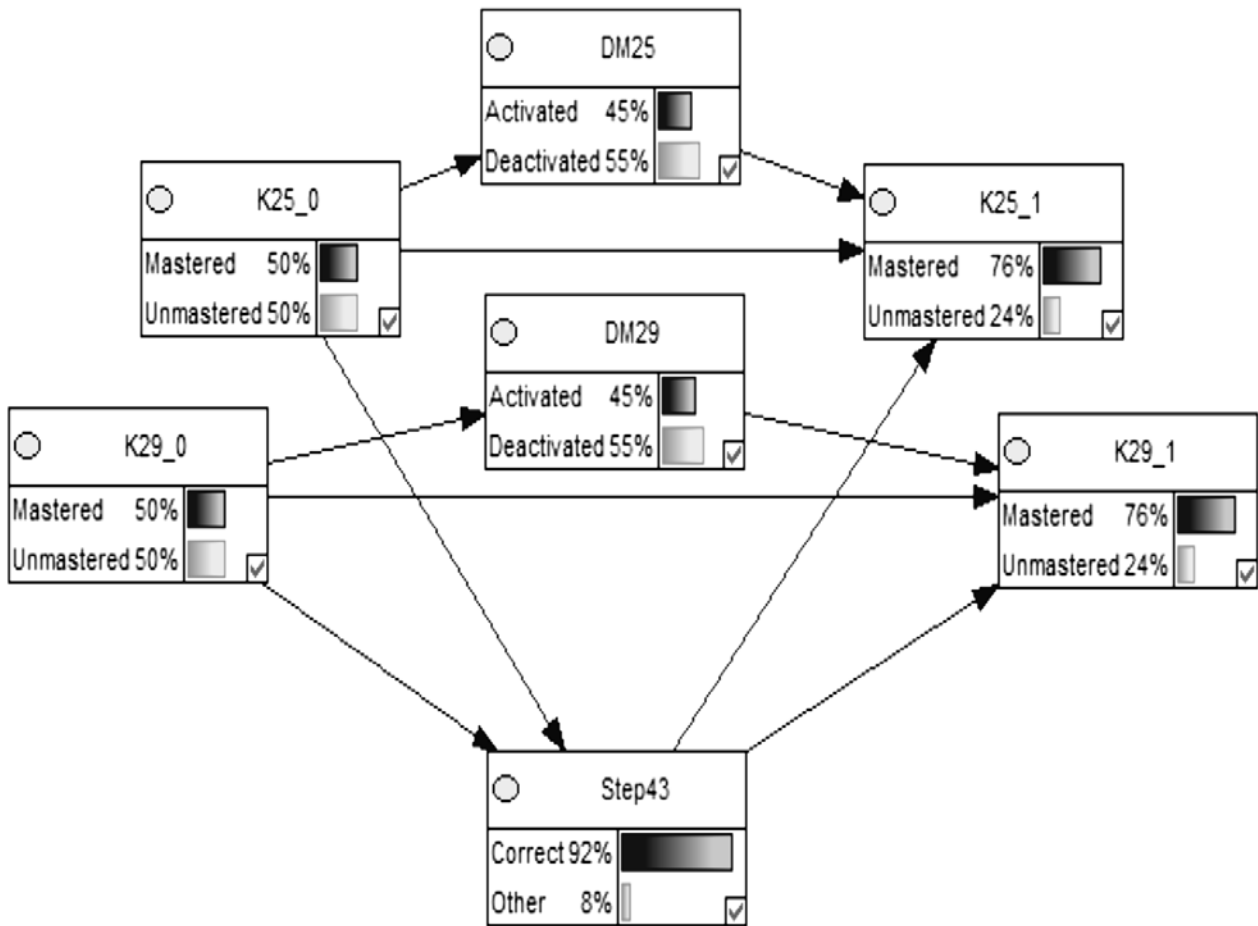
41. Визначить несправний датчик, якщо ознаки $S1 = 1$, $S2 = 0$ і $S3 = 1$.



42. Визначить несправний датчик, якщо ознаки $S1 = 1$, $S2 = 1$ і $S3 = 0$.



43. Визначіть несправний датчик, якщо ознаки $S1 = 1$, $S2 = 1$ і $S3 = 1$.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. СТАН ПРОБЛЕМИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ НАВЧАННЯ ТЕХНІЧНИМ НАУКАМ.....	4
1.1. Актуальність проблеми	4
1.2. ІНК для навчання студентів діагностуванню.....	9
1.3. Апаратно-програмні навчальні комплекси. Загальні поняття	14
1.4. Основні завдання інтелектуального комп'ютерного навчання.....	17
Контрольні запитання.....	21
2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ НАВЧАННЯ.....	22
2.1. Блок гіроскопічних датчиків як об'єкт дослідження.....	22
2.2. Методи діагностичного забезпечення БГД.....	23
2.3. Блок гіроскопічних датчиків як об'єкт діагностики.....	24
2.4. Математична модель забезпечення відмовостійкості.....	28
2.5. Принцип виявлення відмови і визначення її місця	29
2.6. Визначення класу відмови	33
2.7. Визначення виду відмови.....	38
2.8. Методи відновлення дієздатності БГД	43
Контрольні запитання.....	46
3. МОДЕЛІ Й МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО НАВЧАННЯ.....	47
3.1. Основні поняття систем інтелектуального навчання.....	47
3.2. Зовнішній цикл – вибір наступного завдання для студента	49
3.3. Внутрішній цикл – вибір кроку в рамках виконання завдання студентом	55
3.4. Методи аналізу студентських рішень	60
3.5. Баєсові мережі для оцінювання компонентів знань.....	62
Контрольні запитання.....	74
4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАВЧАННЯ.....	75
4.1. Структура апаратно-програмного комплексу.....	75
4.2. Опис апаратного забезпечення	76
4.3. Опис програмного забезпечення	82
4.4. Експериментальні результати тестування TITUS.....	108
Контрольні запитання.....	122
ВИСНОВКИ	123
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	125
ДОДАТОК 1	129
ДОДАТОК 2.....	130
ДОДАТОК 3.....	132

Навчальне видання

**Кулік Анатолій Степанович
Чухрай Андрій Григорович
Гавриленко Олена Володимирівна
Мартінес Бастіда Хуан Пабло**

ВСТУП ДО КОМП'ЮТЕРНОГО НАВЧАННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БЛОКА ГІРОСКОПІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Редактор В. М. Коваль

Зв. план, 2018

Підписано до друку 07.12.2018

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 8,7 . Обл.-вид. арк. 9,75 . Наклад 100 пр.

Замовлення 382 . Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001