

# АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 681.514:621

DOI: 10.31471/1993-9981-2020-1(44)-110-118

## СПЕЦІАЛЬНЕ ПРОГРАМНЕ ТА АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВОСТУПЕНЕВОГО НАГНІТАЧА ПРИРОДНОГО ГАЗУ

*В. М. Гарасимів\*, О. В. Мойсеєнко, Т. Г. Гарасимів*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; e-mail: viraharasymiv78@gmail.com*

Ефективність оцінювання технічного стану основного обладнання компресорних станцій залежить від вчасного попередження виникнення відмов, що, в свою чергу, визначається оцінкою технічного стану основного обладнання в умовах його експлуатації. Оскільки більшість компресорних станцій України використовують двоступеневі відцентрові нагнітачі природного газу, то в даній роботі розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення саме для двоступеневого відцентрового нагнітача природного газу, що дозволяє, із врахуванням особливостей побудови його проточної частини, визначити його основні параметри технічного стану.

Представлений в роботі алгоритм системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого відцентрового нагнітача дозволяє визначити черговість отримання інформації від давачів, способів аналізу інформації і порядок представлення її оператору.

З метою аналізу та визначення технічного стану двоступеневого нагнітача природного газу під час його експлуатації в роботі розроблене програмне забезпечення системи контролю параметрів двоступеневого відцентрового нагнітача, що оформлено у вигляді прикладного програмного модуля, написаного об'єктно-орієнтованою мовою Delphi із можливістю його інтегрування в існуюче програмне забезпечення керування роботою нагнітача. Розроблений програмний продукт забезпечує збирання та оброблення даних, ідентифікацію параметрів математичної моделі відцентрового нагнітача, визначення значень його об'ємної продуктивності до та після капітального ремонту, розрахунок параметрів технічного стану нагнітача, а також експертну оцінку технічного стану його проточної частини із використанням нечіткої логіки.

Розроблене програмне забезпечення підтримки задачі контролю параметрів двоступеневого відцентрового нагнітача перевірене під час експлуатації двоступеневого відцентрового нагнітача природного газу ВЦН-650-21-2 на КС-39 «Прогрес» Богородчанського лінійного виробничого управління магістральними газопроводами. Встановлено, що технічний стан проточної частини нагнітача – допустимий.

**Ключові слова:** компресорна станція, відцентровий нагнітач, параметри технічного стану, програмне забезпечення, програмний модуль, SCADA-система, лінійне виробниче управління магістральними газопроводами.

Эффективность оценки технического состояния основного оборудования компрессорных станций зависит от своевременного предупреждения возникновения отказов, что, в свою очередь, определяется оценкой технического состояния основного оборудования в условиях его эксплуатации. Поскольку большинство компрессорных станций Украины используют двухступенчатые центробежные нагнетатели природного газа, то в данной работе разработано алгоритмическое и программное обеспечение именно для двухступенчатого центробежного нагнетателя природного газа, что позволяет с учетом особенностей построения его проточной части определить его основные параметры технического состояния.

Представленный в работе алгоритм системы контроля параметров технического состояния двухступенчатого центробежного нагнетателя позволяет определить очередность получения информации от датчиков, способов анализа информации и порядок представления ее оператору.

С целью анализа и определения технического состояния двухступенчатого нагнетателя природного газа при его эксплуатации в работе разработано программное обеспечение системы контроля параметров

двухступенчатого центробежного нагнетателя, що оформлено в виде прикладного програмного модуля, написанного об'єктно-орієнтованим мовою Delphi з можливістю його інтеграції в існуюче програмне забезпечення управління роботою нагнетателя. Розроблений програмний продукт забезпечує збір і обробку даних, ідентифікацію параметрів математичної моделі центробежного нагнетателя, визначення значень його об'ємної продуктивності до і після капітального ремонту, розрахунок параметрів технічного стану нагнетателя, а також експертну оцінку технічного стану його проточної частини з використанням нечіткої логіки.

Розроблене програмне забезпечення підтримки задачі контролю параметрів двухступенчатого центробежного нагнетателя перевірено в час експлуатації двухступенчатого центробежного нагнетателя природного газу ВЦН-650-21-2 на КС-39 «Прогрес» Богородчанського лінійного виробничого управління магістральними газопроводами. Встановлено, що технічний стан проточної частини нагнетателя - допустим.

**Ключові слова:** компресорна станція, центробежний нагнетатель, параметри технічного стану, програмне забезпечення, програмний модуль, SCADA-система, лінійне виробниче управління магістральними газопроводами.

Efficiency of the technical state of the compressor station basic components depends on the timely prediction of the appearance of damages. It is defined by the estimation of the technical state of the basic components during the compression process. It is known that the two-stage centrifugal compressors are commonly used in the Ukrainian compressor stations. So, application software and algorithm for the two-stage centrifugal compressor have been developed, what allows to define its technical state parameters, taking into account the construction features of the compressor volute.

The algorithm of the control system of the technical state parameters for the two-stage centrifugal compressor has been represented, what allows to define the receiving of the information order from sensors, methods of the information analysis and the representing order of the information to the operator.

Application software for the control system of the technical state parameters of the two-stage centrifugal compressor has been organized like the application program module to aim to analyze and define the technical state of the two-stage centrifugal compressor during the compression process. It was written in the object-oriented language Delphi, and with the opportunity of its integration into existing software for controlling the compressor. The software provides the capability of data collection and processing, the mathematical model parameters identification of the centrifugal compressor, determining volumetric productivity values, which correspond to the conditions where the centrifugal compressor is a new one or after its overhaul, calculating technical state parameters of the compressor and the expert estimation of the volute technical state of the two-stage centrifugal compressor based on fuzzy logic.

Application software for the parameters control of the two-stage centrifugal compressor has been tested during operation of the two-stage centrifugal compressor 650-21-2 of the compressor station 39 of Bogorodchany linear production administration of gas transmittal pipelines. Obtained results confirmed the average deterioration of the volute technical state.

**Keywords:** compressor station, centrifugal compressor, technical state parameters, application software, application program module, SCADA system, linear production administration of gas transmittal pipelines.

## Вступ

Надійна експлуатація газотранспортної системи (ГТС) України залежить від ефективного і вчасного оцінювання технічного стану основного обладнання компресорних станцій (КС), в тому числі відцентрового нагнетача (ВЦН) та його складових елементів. Відомо, що контроль параметрів технічного стану ВЦН реалізуються під час проведення планово-попереджувальних ремонтів, що має ряд недоліків. По-перше, ВЦН може бути виведений у ремонт у справному стані при досягненні терміну чергового ремонту. По-друге, дефекти вузлів ВЦН під дією зовнішніх та суб'єктивних чинників (порушення правил

експлуатації, недосконалість конструкції) можуть розвиватися стрімко в міжремонтний період, що веде до втрати його працездатності і в подальшому до ремонтно-відновлювальних робіт [1].

Тому особливого значення контроль параметрів газоперекачувального обладнання набуває в міру розроблення автоматизованої системи, в рамках якої може бути реалізована комплексна система контролю параметрів основного і допоміжного обладнання КС, що дозволить простежити за появою і розвитком поступових відмов.

### Аналіз літературних джерел

Спектр методів контролю параметрів газоперекачувальних агрегатів (ГПА) та його складових елементів є дуже широким та різноманітним, тому вибір оптимального з них у кожному конкретному випадку визначається типом агрегату, а також наявними ресурсами. Досить часто на практиці здійснюють контроль не основних параметрів роботи ГПА, а відхилень від їхніх паспортних значень [2-4]. Дані параметри носять назву параметрів технічного стану, за розбиттям простору яких визначають розпізнавання технічних станів ГПА: справний, несправний, працездатний, непрацездатний, функціонувальний, нефункціонувальний. Недоліком даних методів є те, що їхня ефективність залежить від точності обчислення фактичних характеристик агрегата та порівняння їх із його базовими характеристиками.

На сьогодні набули поширення нові методи контролю параметрів ГПА – аеротермоакустичні методи. Їх основоположником є Козирьов В. Т., який у своїй роботі [5] розглядає газотурбінний двигун (ГТД) як систему, що включає дві підсистеми (механічну та аеротермоакустичну), що взаємодіють між собою. При виконанні проектування ГТД має бути відсутня сильна енергетична взаємодія (резонанс) між механічними та аеротермоакустичними підсистемами ГТД. Згідно з теорією Гельмгольца акустична система ГТД складається з чотирьох парціальних акустичних систем, на основі яких будується математична модель об'єкта. Цей метод має високу точність, яка перевірена відповідними дослідженнями, проте потребує дорогої апаратури та підтвердження його ефективності для всіх типів ГПА.

Більшість методів контролю параметрів ГПА та його складових елементів, які розглянуті авторами праць [6-8] реалізуються під час його експлуатації та передбачають монтування додаткових датчиків, що є проблематичним, оскільки потрібна модернізація обладнання та переоформлення відповідної технічної документації. Оскільки більшість нагнітачів, які постачає промисловість в останні роки, мають два ступені [1], то актуальною є задача розроблення системи контролю параметрів

двоступеневого ВЦН з можливістю її подальшої інтеграції в склад існуючої системи автоматичного керування (САК) ГПА, що забезпечить оцінювання функціонального стану нагнітача в умовах його експлуатації.

### Основна частина

Для розв'язання основних задач автоматизації технологічного процесу (ТП) компримування газу і для проектування верхнього рівня систем на КС «Богородчани» використовують SCADA-систему Citect фірми Citect. Програмне забезпечення (ПЗ) Citect включає всі необхідні функціональні блоки (тренди, звіти, драйвери, протоколи) і дозволяє реалізувати віддалений моніторинг системи управління ТП [9].

Верхній рівень САК має забезпечити отримання інформації від усіх датчиків системи, її аналізування, зберігання і представлення диспетчеру [10]. Ці дії не можуть бути виконані одночасно, тому зі створенням системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН потрібно визначити черговість отримання інформації від датчиків, способів аналізу інформації і порядок представлення її оператору, тобто розробити алгоритм системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН (рис. 1).

ПЗ системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН оформлене у вигляді прикладного програмного модуля, в який інтегрована низка програмних продуктів, розроблених у середовищах MatLab та Delphi, що забезпечить відображення інформації на екрані монітора автоматизованого робочого місця (АРМ) інженера. Із використанням функціональних клавіш, розміщених на робочому вікні, оператор може переглянути параметри технічного стану двоступеневого ВЦН, побудувати графіки зміни значень об'ємної продуктивності після капітального ремонту (КР) ВЦН, зміни об'ємної продуктивності ВЦН до КР, графічні результати ідентифікації параметрів математичної моделі та емпіричну модель двоступеневого ВЦН.

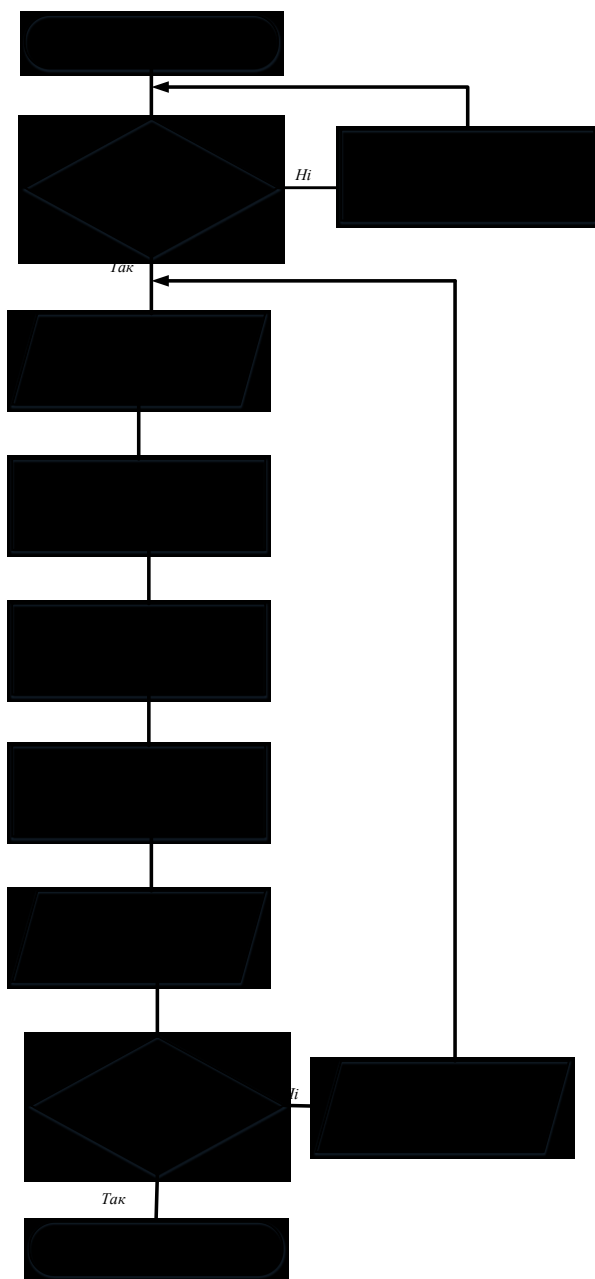


Рисунок 1 – Алгоритм системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН природного газу

Всі програмні продукти, об'єднані інтегратором, що написаний об'єктно-орієнтованою мовою Delphi та оформлений у вигляді об'єктного вікна в Citect. Розроблене ПЗ забезпечує реалізацію таких функцій:

- збирання та оброблення даних про технологічні параметри;
- ідентифікація параметрів математичної моделі ВЦН;

- визначення значень об'ємної продуктивності ВЦН до та після КР;
- розрахунок параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН;
- експертна оцінка технічного стану проточної частини двоступеневого ВЦН.

Взаємодія базового програмного комплексу та спеціального модуля пояснюється структурною схемою, наведеною на рисунку 2.

Інформаційно-вимірювальна система включає в себе давачі і виконавчі механізми для збирання інформації про значення технологічних параметрів, на основі яких контролери (САК ГПА) створюють масиви даних, які, за допомогою пристрою реєстрування інформації, реєструються в архіви для збереження значень технологічних параметрів для кожного із ВЦН.

Для розв'язку задачі контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН вхідними параметрами блоку ідентифікації параметрів математичної моделі є такі значення технологічних параметрів ВЦН: частота обертання робочого колеса, тиск газу на вході в нагнітач, тиск газу на виході нагнітача; перепад тиску на конфузори компресора нагнітача; температура газу на вході в нагнітач, температура газу на виході нагнітача.

Пристрій оброблення інформації здійснює перерахунок і приведення значень технологічних параметрів в одні часові рамки та формує базу даних (БД). Блок ідентифікації параметрів математичної моделі визначає параметри  $X_i^{(0)}$ ,  $i = \overline{0,4}$  та величини  $\mu$  і  $k_T$ , які є вхідними величинами блоку побудови емпіричної моделі ВЦН, де виконується побудова емпіричної моделі ВЦН для обчислення значень об'ємної продуктивності  $Q_j^{(count)}$ , що перерахована до умов  $Q_j^{(0)}$  [11].

Використовуючи значення величин  $X_i^{(0)}$ ,  $Q_j^{(count)}$  блок обчислення зміни параметрів технічного стану ВЦН визначає відносну зміну параметрів  $\Delta x_i$ ,  $i = \overline{0,3}$ , за якими блок експертної оцінки оцінює технічний стан проточної частини двоступеневого ВЦН (вихідна змінна  $d$ ) [12].

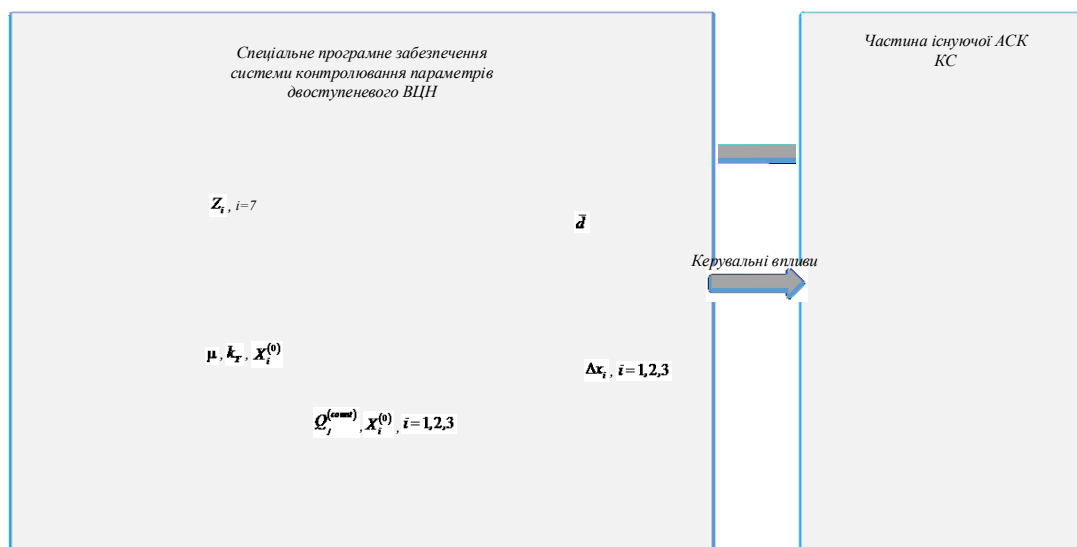


Рисунок 2 – Структурна схема системи контролю параметрів двоступеневого ВЦН природного газу

БД, яка використовується для збереження інформації – це сукупність таблиць, які умовно можна поділити на службові та параметричні. Службові таблиці включають в себе інформацію про структуру самої БД, перелік вимірювальних параметрів та інше. Всі параметричні таблиці однакові за своєю структурою і містять в собі номер вимірювання, дату, час вимірювання та значення вимірюваного параметра [13].

Для роботи з Matlab як із сервером Автоматизації необхідно знати властивості та методи (інтерфейси), які надає сервер Автоматизації. Обмін даними між Delphi-додатком і Matlab з боку Delphi-додатки (диспетчера Автоматизації) здійснюється за допомогою змінних варіантного типу (тип OLEVariant). Matlab, як сервер Автоматизації, надає Delphi-додаткам свої функції PutFullMatrix і GetFullMatrix для обміну кількісьовими масивами, а також функцію Execute для передавання команди на виконання операції сервером Автоматизації. Функції CreateOleObject та Quit відповідно відкривають і закривають сервер (Matlab) [10].

Після виконання зазначених дій запускається математичний блок ідентифікації параметрів математичних моделей нагнітачів, який входить до розробленого модуля програми і є окремою самостійною процедурою, що створена засобами математичного пакету MatLab.

Так як алгоритми, що розраховують параметри процесу компримування природного

газу, створені у вигляді окремих файлів системи MatLab, що мають запускатися в певній визначеній послідовності, то для їхньої консолідації в єдине ціле використовують наявні засоби цього математичного пакету.

На початковому етапі роботи сценарій зчитує із файлу input.bin, набори значень параметрів та поміщає їх у власні внутрішні структури даних – масиви.

```
x0:=VarArrayCreate([1,1],varDouble);
x0i:=VarArrayCreate([1,1],varDouble);
V.GetFullMatrix('X0','base',VarArrayRef(x0),VarArrayRef(x0i));
x1:=VarArrayCreate([1,1],varDouble);
x1i:=VarArrayCreate([1,1],varDouble);
V.GetFullMatrix('X1','base',VarArrayRef(x1),VarArrayRef(x1i));
```

У наведеному фрагменті коду відбувається передача значення змінних Matlab  $X_0$  та  $X_1$  у варіантні змінні ( $x_0$ ,  $x_{0i}$ ) й ( $x_1$ ,  $x_{1i}$ ) програми Delphi.

Створення графічного інтерфейсу для відображення результатів обчислень та забезпечення можливості діалогової взаємодії з користувачем здійснюється за допомогою типових елементів управління, що підтримуються будь-якою високорівневою мовою програмування.

Результати роботи математичного модуля відображаються не лише у вигляді текстової інформації (за допомогою списків), але й у вигляді графіків.

Програми модуля контролю параметрів двоступеневого ВЦН спрацьовують за вимогою диспетчера. Після запуску на екрані відображається форма, зображена на рисунку 3. Це основна форма, що має робочу назву "Main".



Рисунок 3 – Основне вікно програми-інтегратора

Дане вікно (рис. 3) дозволяє контролювати параметри технічного стану нагнітача під час його експлуатації, обчислити їхні зміни від значень, що відповідають умовам роботи нового нагнітача або після його КР, ідентифікувати параметри математичної моделі, побудувати емпіричну модель ВЦН та визначити поточний стан проточної частини нагнітача.

Після натиснення на кнопку "Провести розрахунок" відбувається послідовний запуск трьох сценаріїв: ідентифікації параметрів математичної моделі ВЦН, побудови емпіричної моделі ВЦН, експертної оцінки технічного стану проточної частини ВЦН.

У результаті їхнього виконання заповнюються текстові поля форм, що відповідають відповідним параметрам, та

будуються характерні графіки залежностей значень продуктивності нагнітача після КР від технологічних параметрів, графічні результати ідентифікації параметрів математичної моделі ВЦН із використанням генетичних алгоритмів, емпірична модель ВЦН [11].

У вікні відобразатиметься результат нечіткого висновку, що дозволяє установити значення вихідної змінної  $d$  та графік зміни об'ємної продуктивності ВЦН за поточний місяць. У даному випадку  $d = 0,5$ , що свідчить про те, що технічний стан проточної частини нагнітача – допустимий. Після натиснення на кнопку "Деталі" ідентифікації параметрів математичної моделі відбувається перехід на нову форму з відповідною назвою (рис. 4).

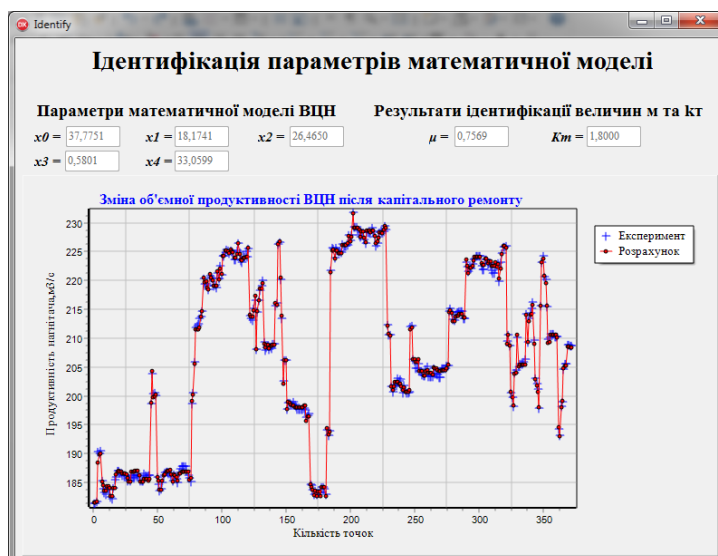


Рисунок 4 – Вікно «Ідентифікація параметрів математичної моделі»

У цьому вікні наведено параметри математичної моделі ВЦН  $X_i^{(0)}$ , результати ідентифікації величин  $\mu$ ,  $k_t$  та графік зміни значень об'ємної продуктивності нагнітача після КР. Після виходу з цієї форми відбувається перехід до основного вікна програми.

Після натиснення на кнопку "Деталі" побудови емпіричної моделі двоступеневого ВЦН відбувається перехід на нову форму з відповідною назвою (рис. 5).

У цьому вікні наведено результат синтезу емпіричної моделі ВЦН. Після виходу з цієї форми відбувається перехід до основного вікна програми.

Після натиснення на кнопку "Деталі" обчислення зміни параметрів двоступеневого ВЦН відбувається перехід на нову форму з відповідною назвою (рис. 6).

У цьому вікні наведено значення зміни параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН  $\Delta x_i$ ,  $i = \overline{0,3}$ , за якими проводиться експертна оцінка поточного стану проточної частини ВЦН в основній формі з назвою "Main" (рис. 3). Після виходу з цієї форми відбувається перехід до основного вікна програми.

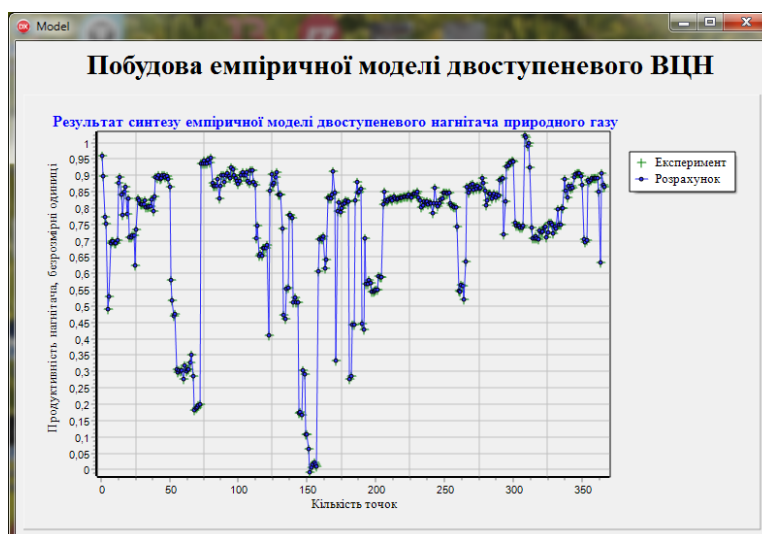


Рисунок 5 – Вікно «Побудова емпіричної моделі двоступеневого ВЦН»

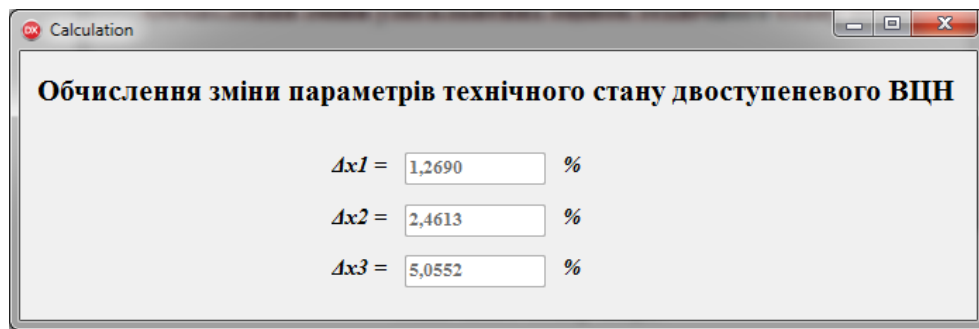


Рисунок 6 – Вікно «Обчислення зміни параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН»

Така організація забезпечує компактне відображення великої кількості графіків та текстової інформації, дозволяючи швидко переключатися між ними. Повний текст програми-інтегратора наведено у роботі [14].

### Висновки

Розроблено блок-схему алгоритму системи контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН, що встановлює черговість отримання інформації від давачів, способів аналізу інформації та порядок представлення її оператору

Також розроблено прикладний програмний продукт підтримки задачі контролю параметрів технічного стану двоступеневого ВЦН, написаний об'єктно-орієнтованою мовою Delphi, із можливістю його інтегрування в існуюче програмне забезпечення SCADA-системи Citect.

### Список використаних джерел

1. Довідник інженера диспетчерської служби / за заг. ред. канд. техн. наук Ю.В. Пономарьова та М.П. Химка. Київ : УЦЕБОПнафтогаз, 2009. 245 с.
2. Горбійчук М.І., Скріпка О.А. Метод обчислення базових значень діагностичних ознак відцентрового нагнітача природного газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2005. № 15. С. 36–40.
3. Horbiychuk M. I., Humeniuk T. V., Povarchuk D. D. Fuzzy Identification of Technological Objects. *Energy Engineering and Control Systems*. 2015. № 1(1). P. 35–42.
4. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Нейрообчислювачі параметрів нагнітачів природного газу. *Нафтова і газова промисловість*. 2002. № 5. С. 39–41.

5. Козырев В. Т. Автоколебательная аэротермоакустика газотурбинных двигателей. Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 456 с.

6. Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Самара : Самарский государственный технический университет, 2009. 130 с.

7. Кузьо І. В., Шоловій Ю. П., Флюнт О. Р. Розвиток методів діагностики основного обладнання компресорних станцій. *Трубопровідний транспорт*. 2013. № 6 (84). С. 18–20.

8. Harihara P. Parasuram, Parlos Alexander G. Fault diagnosis of centrifugal pumps using motor electrical signals. USA, Texas : A&M University, 2012. 32 p.

9. Ковалів Є. О. Оптимізація роботи газоперекачувальних агрегатів з різними типами приводів. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 2 (3). С. 80–86.

10. Заячук Я. І. Система адаптивного управління процесом компримування природного газу. *Нафтогазова енергетика*. 2008. № 3 (8). С. 131–136.

11. Горбійчук М. І., Медведчук В. М. Метод параметричної ідентифікації технічного стану двоступеневого відцентрового нагнітача природного газу. *Нафтогазова енергетика*. 2015. № 1 (23). С. 78–85.

12. Гарасимів В. М., Гарасимів Т. Г., Мойсеєнко О. В. Система оцінювання технічного стану проточної частини двоступеневого нагнітача природного газу на основі нечіткої логіки. *Методи та прилади контролю якості*. 2018. № 1 (40). С. 70–78.

13. Заячук Я.І. Комп'ютерна система оптимального керування роботою відцентрових нагнітачів природного газу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 1. С. 258–263.



14. Гарасимів В. М. Ідентифікація та контроль параметрів двоступеневого нагнітача природного газу із використанням методів штучного інтелекту : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.07. Івано-Франківськ, 2018. 211 с.

#### References

1. Dovidnyk inzhenera dyspetcherskoi sluzhby / za zah. red. kand. tekhn. nauk Yu.V. Ponomarova ta M.P. Khymka. Kyiv : UTsEBOpnaftohaz, 2009. 245 p. [in Ukrainian]

2. Horbiichuk M.I., Skripka O.A. Metod obchyslennia bazovykh znachen diahnostychnykh oznak vidtsentrovoho nahnitacha pryrodnoho hazu. Metody ta prylady kontroliu yakosti. 2005. No 15. P. 36–40. [in Ukrainian]

3. Horbiychuk M. I., Humeniuk T. V., Povarchuk D. D. Fuzzy Identification of Technological Objects. Energy Engineering and Control Systems. 2015. № 1(1). P. 35–42.

4. Horbiichuk M. I., Kohutiak M. I., Kovaliv Ye. O. Neuroobchysliuvachi parametriv nahnitachiv pryrodnoho hazu. Naftova i hazova promyslovisht. 2002. No 5. P. 39–41. [in Ukrainian]

5. Kozyrev V. T. Avtokolebatelnaya aerotermostatika gazoturbinnnykh dvigateley. Moskva : MG TU im. N. E. Baumana, 2005. 456 p. [in Russian]

6. Diligenskaya A.N. Identifikatsiya obektov upravleniya. Samara : Samarskiy gosudarstvenniy tekhnicheskii universitet, 2009. 130 p. [in Russian]

7. Kuzo I. V., Sholovii Yu. P., Fliunt O. R. Rozvytok metodiv diahnostyky osnovnoho obladnannia kompresornykh stantsi. Truboprovodnyi transport. 2013. No 6 (84). P. 18–20. [in Ukrainian]

8. Harihara P. Parasuram, Parlos Alexander G. Fault diagnosis of centrifugal pumps using motor electrical signals. USA, Texas : A&M University, 2012. 32 p.

9. Kovaliv Ye. O. Optymizatsiia roboty hazoperekachuvalnykh ahrehativ z riznyimi typami pryvodiv. Naftohazova enerhetyka. 2007. No 2 (3). P. 80–86. [in Ukrainian]

10. Zaiachuk Ya. I. Systema adaptivnoho P. 131–136.

11. Horbiichuk M. I., Medvedchuk V. M. Metod parametrychnoi identyfikatsii tekhnichnoho stanu dvostupenevoho vidtsentrovoho nahnitacha pryrodnoho hazu. Naftohazova enerhetyka. 2015. No 1 (23). P. 78–85. [in Ukrainian]

12. Harasymiv V. M., Harasymiv T. H., Moiseienko O. V. Systema otsiniuvannia tekhnichnoho stanu protochnoi chastyny dvostupenevoho nahnitacha pryrodnoho hazu na osnovi nechitkoi lohiky. Metody ta prylady kontroliu yakosti. 2018. No 1 (40). P. 70–78. [in Ukrainian]

13. Zaiachuk Ya.I. Kompiuterna systema optymalnoho keruvannia robotoiu vidtsentrovnykh nahnitachiv pryrodnoho hazu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2010. No 1. P. 258–263. [in Ukrainian]

14. Harasymiv V. M. Identyfikatsiia ta kontrol parametriv dvostupenevoho nahnitacha pryrodnoho hazu iz vykorystanniam metodiv shtuchnoho intelektu : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.07. Ivano-Frankivsk, 2018. 211 p. [in Ukrainian]