

## ПОБУДОВА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ УНІФІКОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕНЕРУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ З ЇХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

<sup>1</sup>І.В. Назаренко, <sup>2</sup>М.Я. Николайчук

<sup>1</sup>Управління магістральних газопроводів «Київтрансгаз»; 03065, м. Київ, пр. Комарова, 44,  
тел. (044) 239-77-65, e-mail: niv@ktg.com.ua

<sup>2</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153,  
e-mail: ktsu@nung.edu.ua

*В статті вирішується актуальна науково-технічна задача, пов'язана з використанням сучасних інформаційних технологій в газотранспортній системі (ГТС), яка є стратегічною і відноситься до складних територіально розподілених об'єктів управління.*

*Сьогодні в газотранспортній галузі застосовуються апаратно-програмні засоби різних поколінь і виробників, а також методики створення і налагодження алгоритмів керування, що ускладнює процедури і процеси керування окремими об'єктами і ГТС загалом.*

*Аналіз алгоритмів керування об'єктами компресорного цеху свідчить про тісний взаємозв'язок між технологічними параметрами і ознаками стану об'єктів керування, а також апаратно-програмними засобами систем автоматичного керування компресорними цехами (САК КЦ). Крім того, значна частина функцій керування виконується на рівні апаратних програмованих логічних контролерів (ПЛК - GE Fanuc, -Siemens, -Mitsubishi та інші.), які використовують мови програмування, що базуються на стандарті IEC 61131. Тому, для уніфікації алгоритмів і процедур керування, а також уніфікації апаратно-програмних засобів САК КЦ, доцільним і перспективним є побудова систем управління об'єктами ГТС на базі технології автоматичного генерування функціональних блоків стандарту IEC 61131.*

*Для вирішення вказаних задач, запропоновано методику генерування функціональних блоків в стандарті IEC 61131 з математичних моделей алгоритмів управління, попередньо виконаних в програмному середовищі MATLAB Simulink, при вирішенні задач побудови систем управління технологічними об'єктами ГТС.*

*Апробовано процедури та досліджено інформаційні процеси автоматичного генерування функціональних блоків IEC 61131 для програмованих логічних контролерів.*

*Розроблено функціональні блоки IEC 61131 на основі математичних моделей алгоритмів керування компресорними станціями (КС).*

**Ключові слова:** система управління об'єктами газотранспортної системи; алгоритмів керування, стандарті IEC 61131; математична модель

*В статье решается актуальная научно-техническая задача, связанная с использованием современных информационных технологий в газотранспортной системе (ГТС), которая является стратегической и относится к сложным территориально распределенным объектам управления.*

*Сегодня в газотранспортной отрасли применяются аппаратно-программные средства разных поколений и производителей, а также методики создания и отладки алгоритмов управления, что усложняет процедуры и процессы управления отдельными объектами и ГТС в целом.*

*Анализ алгоритмов управления объектами компресорного цеха свидетельствует о тесной взаимосвязи между технологическими параметрами и признаками состояния объектов управления, а также аппаратно-программными средствами систем автоматического управления компресорными цехами (САУ КЦ). Кроме того, значительная часть функций управления выполняется на уровне аппаратных программируемых логических контроллеров (ПЛК - GE Fanuc, -Siemens, -Mitsubishi и др.), использующих языки программирования, основанные на стандарте IEC 61131. Поэтому, для унификации алгоритмов и процедур управления, а также унификации аппаратно-программных средств САУ КЦ, целесообразным и перспективным является построение систем управления объектами ГТС на базе технологии автоматического генерирования функциональных блоков стандарта IEC 61131.*

*Для решения указанных задач, предложена методика генерирования функциональных блоков в стандарте IEC 61131 с математических моделей алгоритмов управления, предварительно выполненных в среде MATLAB Simulink, при решении задач построения систем управления технологическими объектами ГТС.*

*Апробированы процедуры и исследованы информационные процессы автоматического генерирования функциональных блоков IEC 61131 для программируемых логических контроллеров.*

*Разработаны функциональные блоки IEC 61131 на основе математических моделей алгоритмов управления компресорными станциями (КС).*

**Ключевые слова:** система управления объектами газотранспортной системы; алгоритмы управления, стандарт IEC 61131; математическая модель

*The paper is dedicated to relevant scientific and technical problems associated with the use of modern information technologies in gas transmission system (GTS), which is strategic and relates to the complex geographically distributed control facilities.*

Today, gas transmission system uses hardware and software from different manufacturers in many versions, as well as different methods of creating and debugging control algorithms. It complicates the procedure and process individual objects' controlling as well as GTS in general.

The analysis of algorithms objects' controlling in compressor stations that shows a strong correlation between technological parameters and characteristics of controlled objects, as well as hardware and software of automatic control systems of compressor groups (ACS CG). In addition, most of the management functions are implemented in the hardware programmable logic controllers (PLC - GE Fanuc, -Siemens, -Mitsubishi and others.), using a programming language based on standard IEC 61131.

Therefore, for unification of the algorithms and control procedures and to unify hardware and software SAC KS, appropriate and promising construction of management based on GTS technology is needed the new method of generating functional blocks in the standard IEC 61131 with mathematical models of algorithms are used to solve these problems with building control systems for GTS. Previously it was performed in the software environment MATLAB Simulink. Approved procedures and information processes investigated automatic generation of functional blocks of IEC 61131 for programmable logic controllers.

The procedures are tested, and information processes of automatic generation of IEC 61131 function blocks for programming logic controllers (PLC) are investigated.

The IEC 61131 function blocks based on the mathematical models for the compressor station (CS) control algorithm have been developed.

Key words: control systems of gas transmission system objects; control algorithms; the standard IEC 61131, a mathematical model

**Вступ.** Побудова систем управління об'єктами ГТС, яка характеризується складністю, багаторівневістю і територіальною розподіленістю є актуальним науково-технічним завданням, пов'язаним з широким застосуванням сучасних інформаційних технологій і людино-машинних комплексів [1].

У даний час, застосовуються апаратно-програмні засоби різних поколінь і виробників, а також методики створення і налагодження алгоритмів керування, що ускладнює процедури і процеси керування окремими об'єктами і ГТС загалом.

В статті наводяться результати дослідних і проектних робіт з уніфікації процедур створення (автоматичного генерування) функціональних блоків стандарту IEC 61131 для програмованих логічних контролерів на основі математичних моделей і алгоритмів керування при побудові систем управління об'єктами ГТС.

**Аналіз алгоритму керування компресорним цехом.** Алгоритм керування компресорним цехом включає:

- алгоритм запуску системи автоматичного керування компресорним цехом (САК КЦ);
- алгоритм вводу/виводу газоперекачувального агрегату (ГПА) в трасу;
- алгоритм холодної рециркуляції ГПА.

В алгоритмі керування компресорним цехом, першочергово виконується інформаційний обмін даними з об'єднаними системами САК ГПА.

В інформаційному обміні з САК ГПА САК КЦ є ведучою системою, яка почергово надсилає в САК кожного з ГПА, що працюють в трасу під керуванням цехового регулятора, запити на читування даних, в яких містяться поточні значення аналогових параметрів і сигналів стану. Далі САК КЦ зчитує інформацію і заносить її до реєстрів, до яких свого часу звертаються програми, що реалізують алгоритми керування.

Перевіряється стан ознаки «САК КЦ в роботі». Якщо вказана ознака не встановлена, то перевіряється готовність САК КЦ до пуску, і

після надходження команди «ПУСК САК КЦ» ознака «САК КЦ В РОБОТІ» встановлюється в логічну одиницю.

Скидання ознаки «САК КЦ в роботі» у логічній нуль здійснюється за командою «Стоп САК КЦ».

Якщо ознака «СА КЦ В РОБОТІ» встановлена в логічну одиницю, то запускається система антипомпажного регулювання КЦ.

Далі перевіряється надходження команди «СТОП САК КЦ». Якщо команда «СТОП САК КЦ» надійшла, ознака «САК КЦ В РОБОТІ» скидається і здійснюється вихід з алгоритму.

Якщо команда «СТОП САК КЦ» не надійшла, перевіряється виконання умов:

$$P_{ex.min}^{уст.} - P_{ex.}^{nom.} < \varepsilon_{p.gr}^{ex.min}, \quad (1)$$

де  $P_{ex.min}^{уст.}$  – уставка за мінімальним тиском на вході;

$P_{ex.}^{nom.}$  – поточне значення тиску на вході;

$\varepsilon_{p.gr}^{ex.min}$  – граничне значення неузгодженості за мінімальним тиском на вході.

Якщо дана умова виконується, то здійснюється перехід на регулювання в функції

$\varepsilon_p^{ex.min}$ . У такий спосіб здійснюється функція захисту обладнання КЦ від недопустимого зниження тиску на вході КЦ.

Якщо (1) не виконується, тобто поточне значення тиску на вході КЦ не нижче допустимого, перевіряється умова обмеження поточного значення тиску на виході КЦ зверху:

$$\left| \varepsilon_{p.gr}^{vix.min} \right| = P_{vix.KЦ}^{уст.} - P_{vix.KЦ}^{nom.}, \quad (2)$$

де  $\left| \varepsilon_p^{vix.min} \right|$  – значення неузгодженості за максимальним тиском на вході;

$P_{vix.KЦ}^{уст.}$  – уставка тиску на виході КЦ;

$P_{vix.KЦ}^{nom.}$  – поточне значення тиску на виході КЦ.

Якщо значення неузгодженості  $\left| \varepsilon_{p,gr}^{вих, max} \right|$  більше граничного, здійснюється перехід до регулювання за  $\varepsilon_p^{ex, max}$ .

Перехід до регулювання за  $\varepsilon_p^{ex, min}$  або  $\varepsilon_{p,gr}^{вих, max}$  є «стоп-умовою» для реалізації функцій:

- введення ГПА в трасу;
- виведення ГПА з траси за командою оперативного персоналу.

Блок запуску САК КЦ можна об'єднати в один логічний алгоритм.

Якщо від оперативного персоналу надійшла команда на введення агрегату в трасу, то виконується перевірка на виконання «старт-умов» даного режиму:

- агрегат, що вводиться в трасу, повинен централізовано керуватись САК КЦ;
- агрегат, що вводиться в трасу, повинен функціонувати в режимі «КІЛЬЦЕ»;
- агрегат, що вводиться в трасу, не повинен знаходитись в режимі аварійного (АЗ) або нормального зупинів (НЗ);
- КЦ повинен знаходитись або в режимі «Слідкування», або в режимі «Навантаження».

Якщо для ГПА, що вводиться в трасу, виконується нерівність:

$$P_{газу за н.} - P_{вих, КЦ} \geq 0.5 \text{ кг} / \text{см}^2, \quad (3)$$

де  $P_{газу за н.}$  – тиск газу за нагнітачем (агрегатний параметр, який надходить від САК ГПА);

$P_{вих, КЦ}$  – тиск на виході колектора КЦ (цеховий сигнал, який надходить від автоматизованого робочого місця змінного інженера компресорного цеху (АРМ ЗІ КЦ)), що відповідає відкриттю зворотнього клапана, САК КЦ формує та передає в САК ГПА, який вводиться в трасу, запит на введення ГПА в трасу.

За даним запитом САК ГПА, що вводиться в трасу, реалізує відкриття крану (Кр2).

САК КЦ перевіряє відкриття (Кр2) за заданий інтервал часу. Якщо (Кр2) не відкрився на за заданий інтервал часу, формується та видається оперативному персоналу повідомлення «Вхід перервано, (Кр2) закритий».

Якщо (Кр2) агрегату, який вводиться в трасу, відкритий, то це означає, що «старт-умови» введення в трасу виконані. Далі починається збільшення потужності агрегату із заданою швидкістю. При цьому змінюється частота обертання ротора ГПА, який вводиться в трасу.

У випадку, якщо ГПА, який вводиться в трасу, опиняється в проміжному стані, то ознака «КІЛЬЦЕ» встановлюється в логічний нуль, а ознака «ТРАСА» ще не встановлена в одиницю, тому швидкість зміни потужності знижується.

Швидкість збільшення потужності поновлюється у випадку виявлення сигналу «ТРАСА».

Потужність агрегату, що вводиться в трасу, збільшують доти, поки поточне значення

віддаленості від лінії помпажу « $L_{pot.}$ » не перевищить граничне значення « $L_{si.}$ ».

Після виконання вказаних процедур обчислюються поточні значення коефіцієнтів розподілу навантаження ( $\alpha_i$ ) для кожного з агрегатів, які працюють в трасу, з урахуванням ГПА, який введений в трасу:

$$\alpha_i = \frac{N_i}{N_{КЦ}}, \quad (4)$$

де  $N_i$  – потужність, що віддається в трасу і-го ГПА (обчислюється САК ГПА);

$N_{КЦ}$  – сумарна потужність усіх агрегатів, що працюють в трасу під керуванням САК КЦ.

Далі скидається ознака «ВВЕДЕННЯ ГПА В ТРАСУ».

За час виконання процедури введення ГПА в трасу САК КЦ перевіряє, чи не змінилася кількість та склад ГПА, які працюють в режимі централізованого керування. Якщо вказані зміни відбулись, то це є «стоп-умовою» введення ГПА в трасу.

Якщо команда на введення ГПА в трасу відсутня, то перевіряється надходження команди на виведення ГПА з траси.

При надходженні команди на виведення j-го ГПА з траси, перевіряється виконання «старт-умови» виведення.

Ось «старт-умови» режиму «ВИВЕДЕННЯ ГПА З ТРАСИ»:

- агрегат, що виводиться, не повинен знаходитись в режимах аварійного (АЗ) або нормального (НЗ) зупинів;
- агрегат, що виводиться, повинен працювати у трасу в режимі централізованого керування (під керуванням САК КЦ);

- компресорний цех повинен працювати або в режимі «СЛІДКУВАННЯ», або в режимі «РОЗВАНТАЖЕННЯ»;

- впродовж виконання процедури виведення агрегату з траси не повинні змінюватись кількість та склад агрегатів, які працюють під керуванням САК КЦ.

Якщо «старт-умови» не виконуються, то формується відповідне повідомлення оперативному персоналу та скидається ознака «ВИВЕДЕННЯ ГПА З ТРАСИ».

Якщо «старт-умови» виведення з траси виконані, а ГПА, що виводиться, знаходиться не в проміжному положенні і не на «кільці», встановлюється максимальна швидкість зменшення потужності агрегату.

Далі обчислюються фактичні значення коефіцієнтів розподілу навантаження  $\alpha_{кф}$  для агрегатів, які залишаються в трасі під керуванням САК КЦ відповідно до виразу:

$$\alpha_{кф} = \frac{N_k}{N_{КЦ} - N_j}, \quad (5)$$

де  $N_k$  – потужність, яка віддається в трасу кількості ГПА, які працюють під керуванням САК КЦ;

$N_{КЦ}$  – сумарна потужність, що віддається в трасу ГПА, які працюють під керуванням САК КЦ;

$N_i$  – потужність, яка віддається ГПА, що виводиться з траси.

Якщо ГПА, що виводиться з траси, переходить у проміжне положення (сигнал «ТРАСА» дорівнює нулю, а сигнал «КІЛЬЦЕ» ще не встановлено в одиницю), знижується швидкість зменшення потужності ГПА, який виводиться.

У випадку, якщо агрегат, який виводиться, виходить на «кільце», швидкість зменшення потужності ГПА, який виводиться, відновлюється.

Скидання потужності ГПА, який виводиться, продовжується до тих пір, поки не буде виконана нерівність:

$$P_{вих.КЦ} - P_{j \text{ за н.}} \geq 2 \text{ кг} / \text{см}^2, \quad (6)$$

де  $P_{вих.КЦ}$  – тиск газу на виході колектора КЦ;

$P_{j \text{ за н.}}$  – тиск газу за нагнітачем ГПА, який виводиться з траси.

Виконання останньої умови забезпечує надійне закриття зворотнього клапана ГПА, який виводиться з траси.

Нерівність (6) формує «стоп-умову» виведення ГПА з траси. Після виконання «старт-умови» анулюється ознака «ВИВЕДЕННЯ ГПА З ТРАСИ».

«Стоп-умовами» алгоритму виведення ГПА з траси є:

- зміна кількості або стану агрегатів, які працюють в трасу під керуванням САК КЦ;
- перехід в режим «НАВАНТАЖЕННЯ».

Блок вводу/виводу ГПА з траси можна об'єднати в один логічний алгоритм (рис. 1).

Таким чином, аналіз алгоритмів керування об'єктами компресорного цеху свідчить про тісний взаємозв'язок між технологічними параметрами і ознаками стану об'єктів керування, а також апаратно-програмними засобами САК КЦ. Крім того, значна частина функцій керування виконується на рівні апаратних програмованих логічних контролерів (GE Fanuc, Siemens, Mitsubishi та інш.), які використовують мови програмування, що базуються на стандарті IEC 61131 [2]. Тому для уніфікації алгоритмів і процедур керування, а також уніфікації апаратно-програмних засобів САК КЦ автори вважають за доцільне і перспективне побудову систем управління об'єктами ГТС на базі технології автоматичного генерування функціональних блоків стандарту IEC 61131 з математичних моделей алгоритмів керування технологічними об'єктами.

**Технологія генерування управляючих функціональних блоків з їх математичних моделей.** На рис. 2 наведено математичну модель алгоритму керування компресорним цехом, виконану в програмному середовищі MATLAB Simulink [3], яка включає:

- SAKR KC – функціональний блок САК КЦ;
- GPA1, GPA2 – функціональні блоки ГПА1 і ГПА2;
- SB1...SB16 – перемикачі логічних станів;
- I1, I2 – вхідні аналогові сигнали функціонального блоку САК КЦ;
- I4...I6 – входи установки за мінімумом і максимумом функціонального блоку САК КЦ;
- I7...I12 – вхідні аналогові сигнали функціонального блоку ГПА1;
- I13...I18 – вхідні аналогові сигнали функціонального блоку ГПА2;
- Q1...Q24 – вихідні сигнали функціональних блоків.

Для виконання процедури автоматичної генерації функціонального блоку в стандарті IEC 61131, необхідно вибрати даний блок і визначити його параметри «Subsystem Parameters». В діалоговому вікні визначається «Treat as atomic unit». Далі вибирається опція «PLC Coder/Options».

Крім того, існує можливість визначити тип ПЛК за виробником, для якого буде згенеровано код (Target IDE). На рис. 3 зображено результат процесу генерування коду для управляючого блоку САК КЦ.

На рис. 4 показано послідовність виконання процедур автоматичної генерації управляючого функціонального блоку для PLC Simatic S7 шляхом претворення управляючого функціонального блоку математичної моделі з середовища MATLAB Simulink в програмний код на мові SCL [4].

Таким чином, дана технологія може бути застосована і для інших математичних моделей об'єктів управління, що підвищує оперативність створення і налагодження управляючих функціональних блоків для апаратних ПЛК.

Нижче наведено результати застосування уніфікованої технології автоматичного генерування управляючого функціонального блоку ГПА. Даний блок складається із трьох окремих блоків (рис. 5-7), розроблених на основі:

- Start\_GPA (рис. 5);
- Stop\_GPA (рис. 6);
- Recirculation (рис. 7).

На рис. 8 показано управляючий функціональний блок ГПА, створений на основі математичної моделі і алгоритму керування.

**Інтеграція моделей в апаратно-програмні засоби Simatic S7.** Для інтеграції математичних моделей в апаратні PLC (наприкладі апаратно-програмних засобів «Siemens»), програмний код, який був автоматично згенерований в програмному модулі Simulink PLC Coder, необхідно скопіювати в функціональні блоки базового програмного пакету Simatic STEP 7 [5, 6] (рис. 9).

В результаті компіляції даного коду, створюється функціональний блок FB2, який може бути безпосередньо записаний в апаратний PLC.

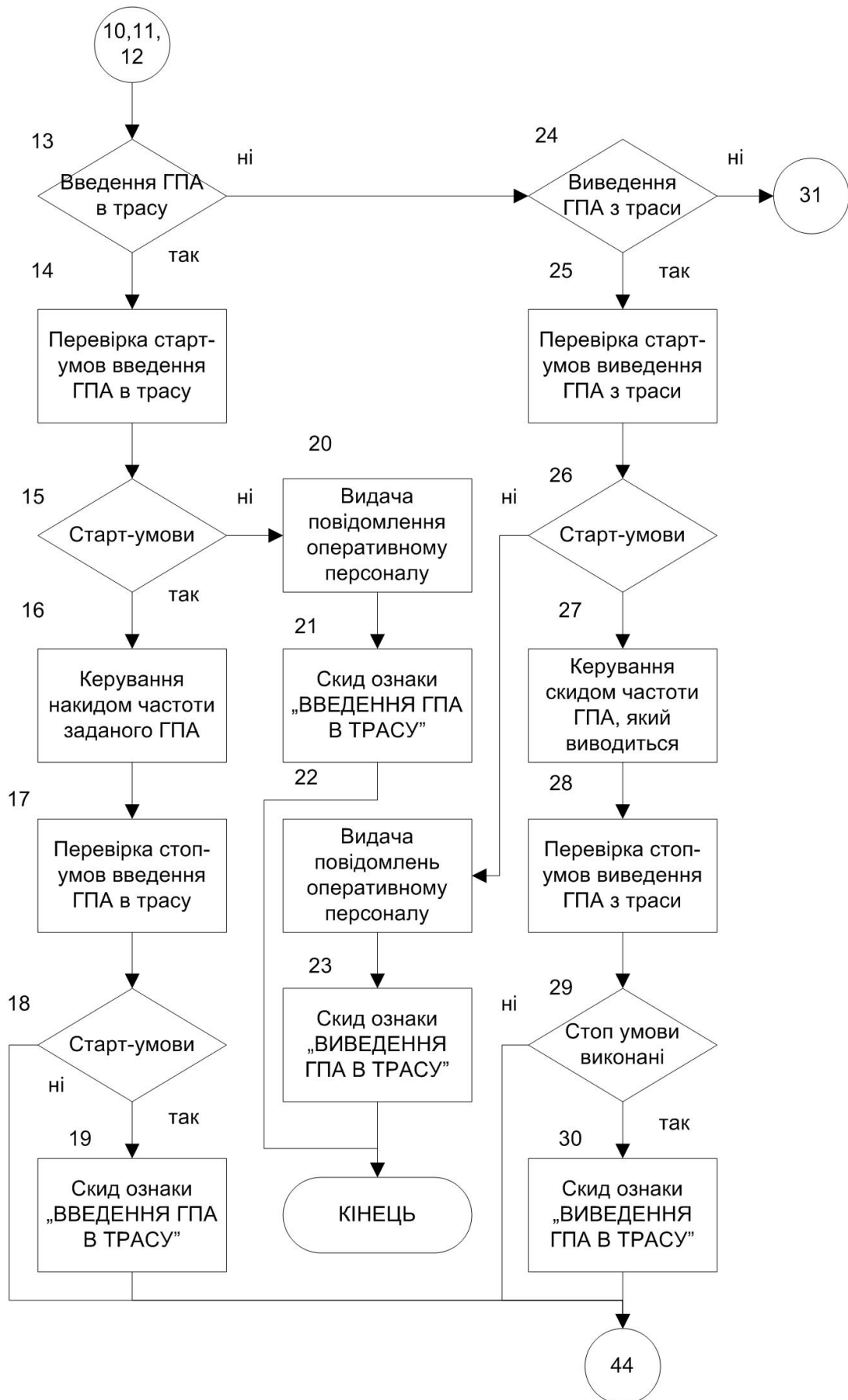
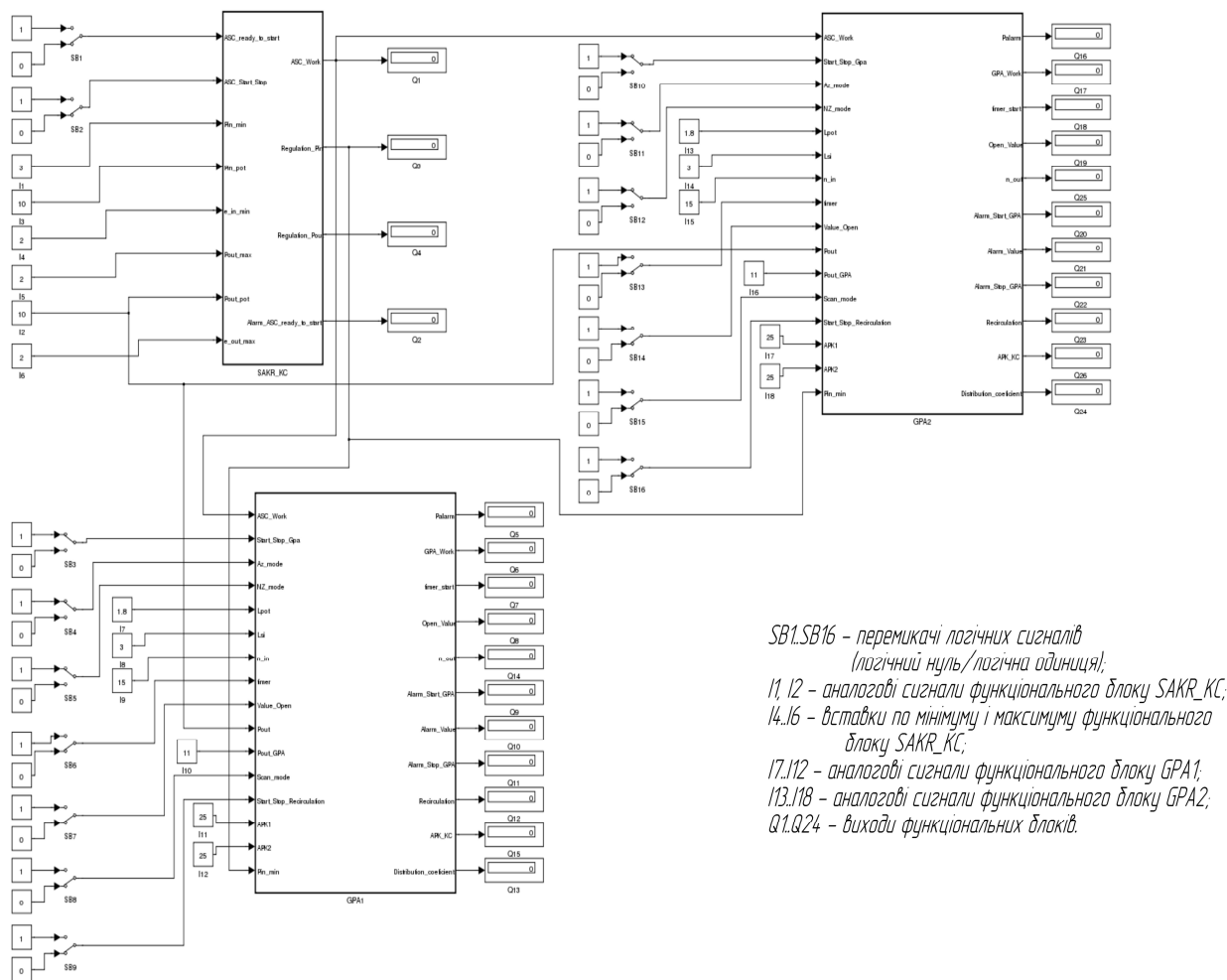


Рисунок 1 - Алгоритм вводу/виводу ГПА в трасу



*SB1..SB16 – перемикачі логічних сигналів (логічний нуль/логічна одиниця);  
 I1, I2 – аналогові сигнали функціонального блоку SAKR\_KC;  
 I4..I6 – вставки по мінімуму і максимуму функціонального блоку SAKR\_KC;  
 I7..I12 – аналогові сигнали функціонального блоку GPA1;  
 I13..I18 – аналогові сигнали функціонального блоку GPA2;  
 Q1..Q24 – виходи функціональних блоків.*

Рисунок 2 – Математична модель алгоритму управління компресорним цехом

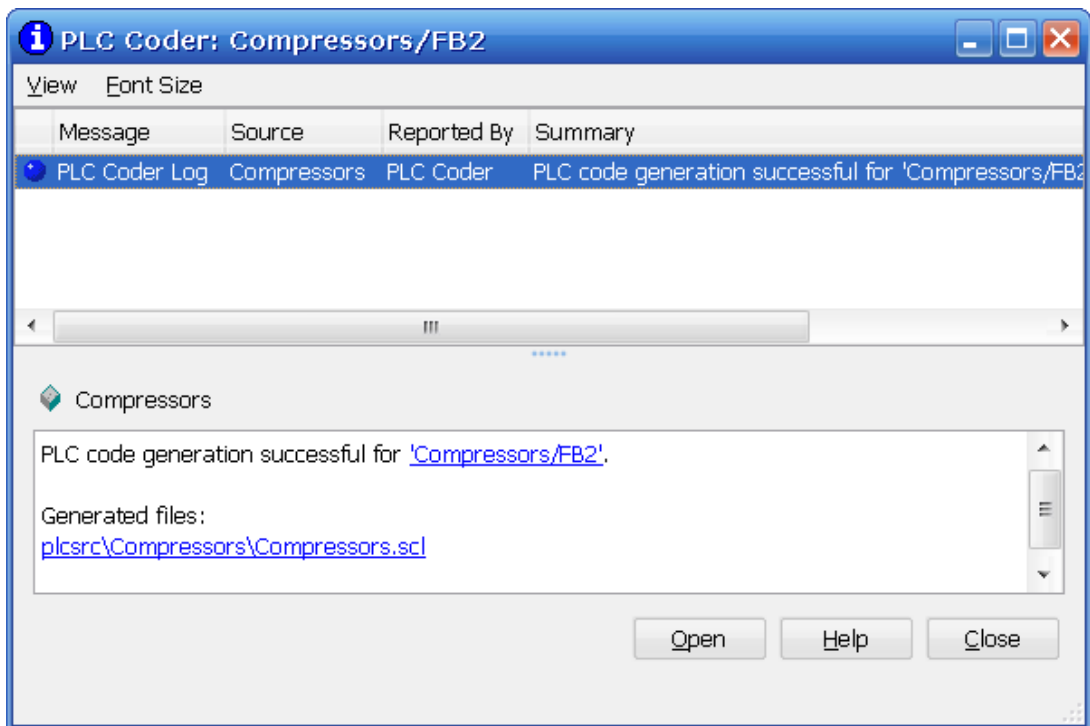
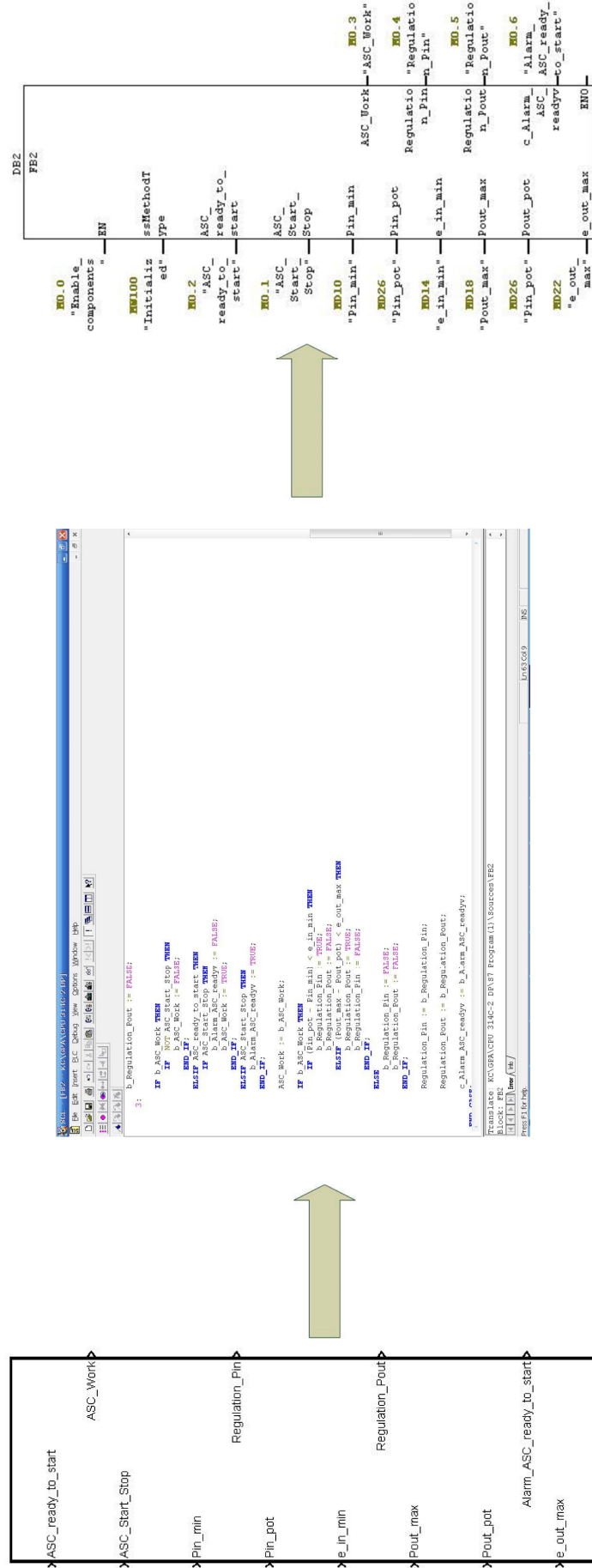


Рисунок 3 – Результат генерування коду для управляючого блоку САК КЦ



```

3:
b_Regulation_Pout := FALSE;
IF b_ASC_Work THEN
  NOT ASC_Start_Stop WHEN
  b_ASC_Work := TRUE;
ELSEIF ASC_ready_to_start THEN
  IF b_Alarm_ASC_ready := FALSE;
  b_ASC_Work := TRUE;
  b_Alarm_ASC_ready := TRUE;
ELSEIF Start_Stop THEN
  b_Alarm_ASC_ready := TRUE;
END_IF;
ASC_Work := b_ASC_Work;
IF b_ASC_Work THEN
  IF (Pin_pot < Pin_min) < e_in_min THEN
    b_Regulation_Pin := TRUE;
    b_Regulation_Pout := TRUE;
  ELSEIF b_Regulation_Pout := TRUE; e_out_max THEN
    b_Regulation_Pin := FALSE;
  END_IF;
ELSE
  b_Regulation_Pin := FALSE;
  b_Regulation_Pout := FALSE;
END_IF;
Regulation_Pin := b_Regulation_Pin;
Regulation_Pout := b_Regulation_Pout;
c_Alarm_ASC_ready := b_Alarm_ASC_ready;
END_BLOCK;
ENO := ENO;

```

Рисунок 4 – Послідовність процедур для автоматичної генерації управляючого функціонального блоку для PLC Simatic S7

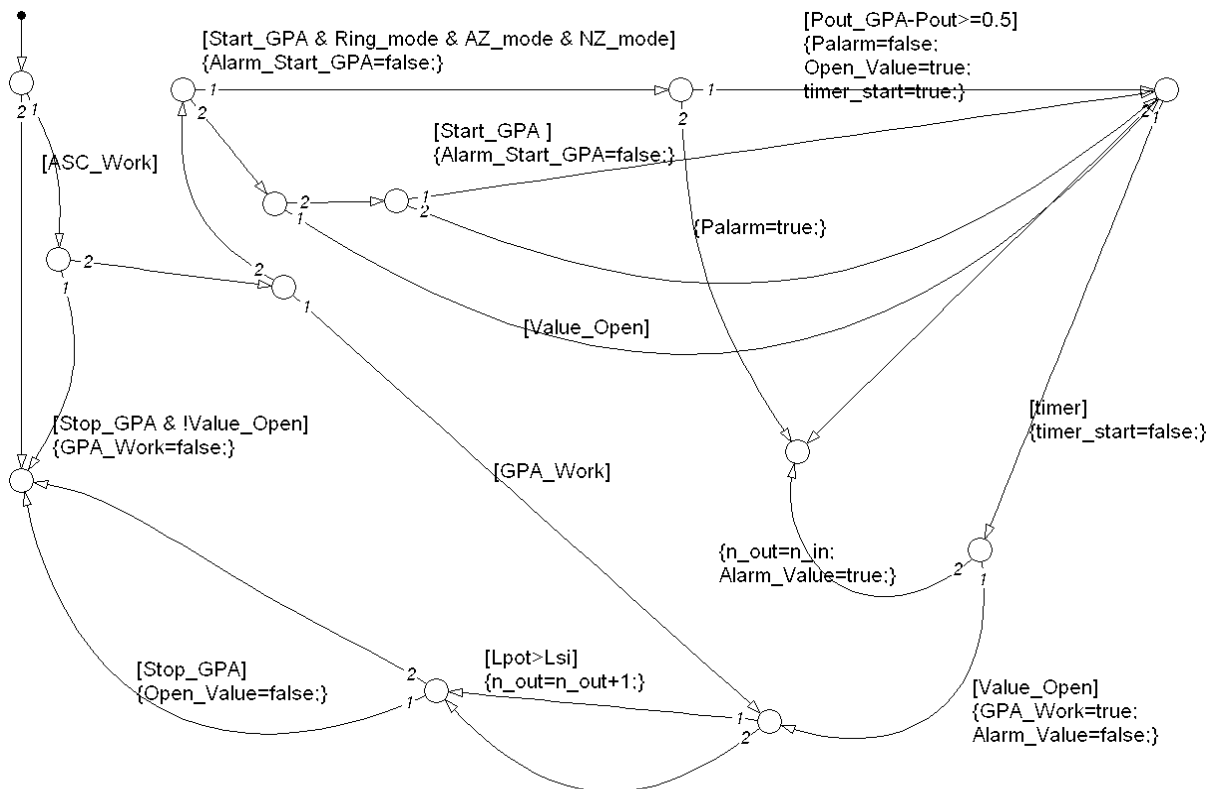


Рисунок 5 – Внутрішня структура блоку «Start\_GPA»

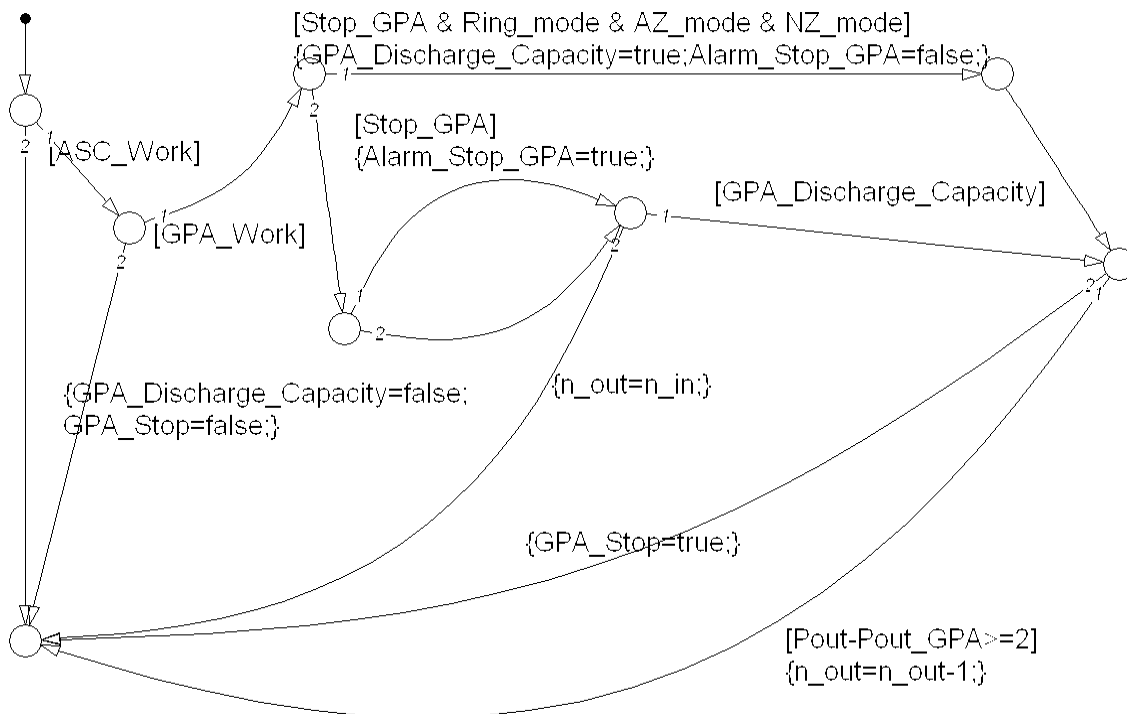


Рисунок 6 – Внутрішня структура блоку «Stop\_GPA»



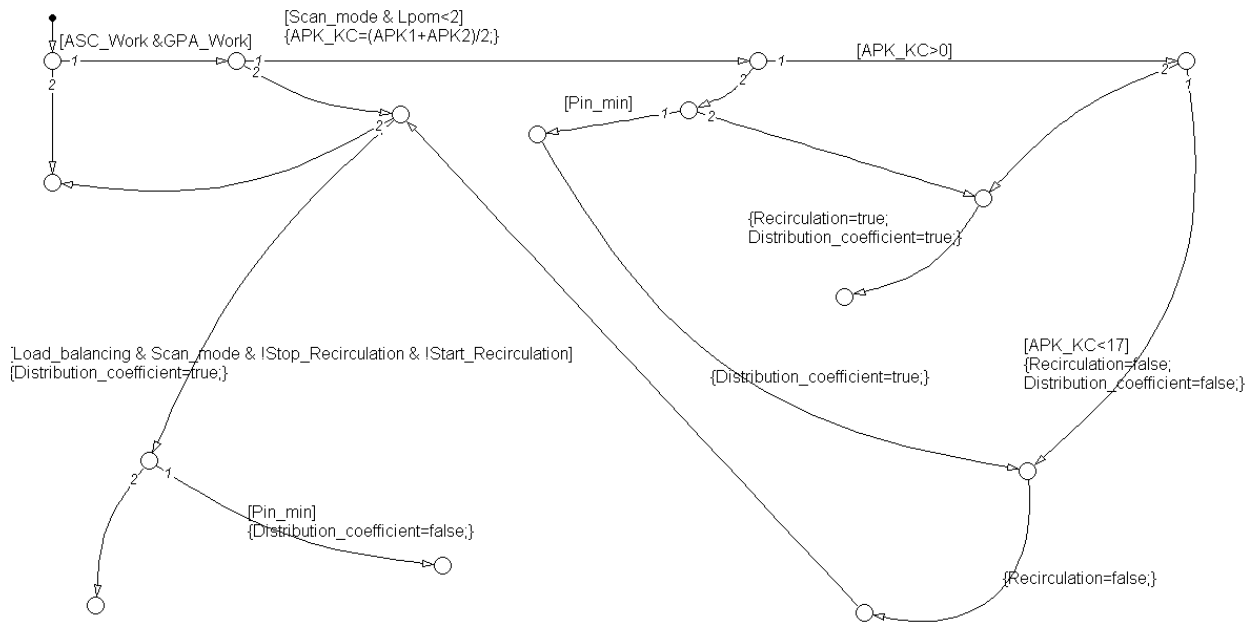


Рисунок 7 – Внутрішня структура блоку Recirculation

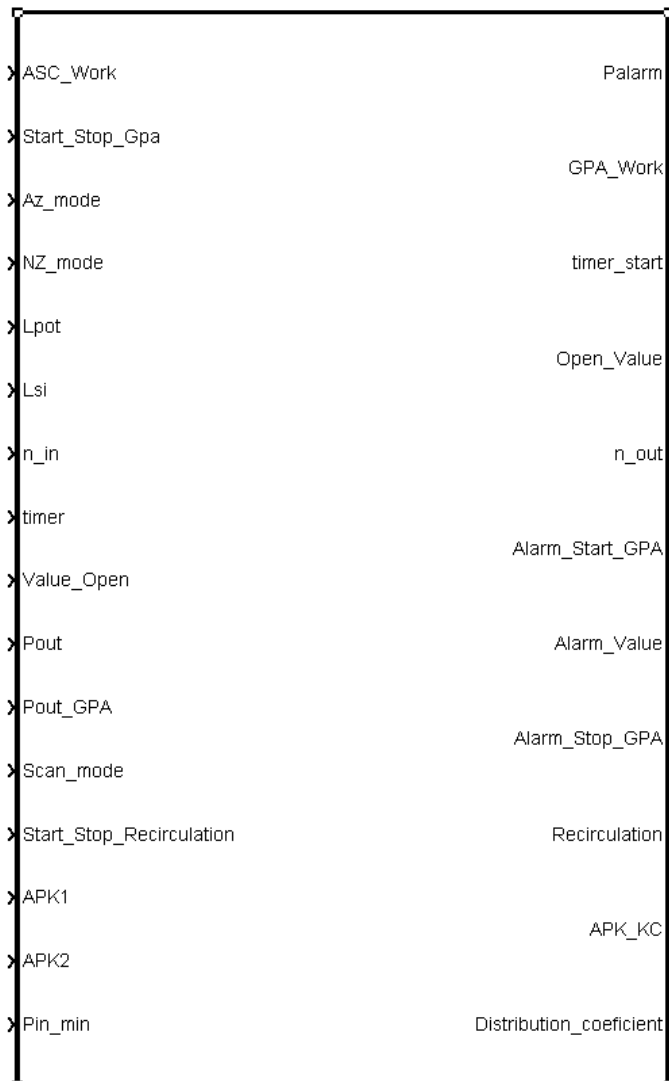


Рисунок 8 – Управляючий функціональний блок ГПА

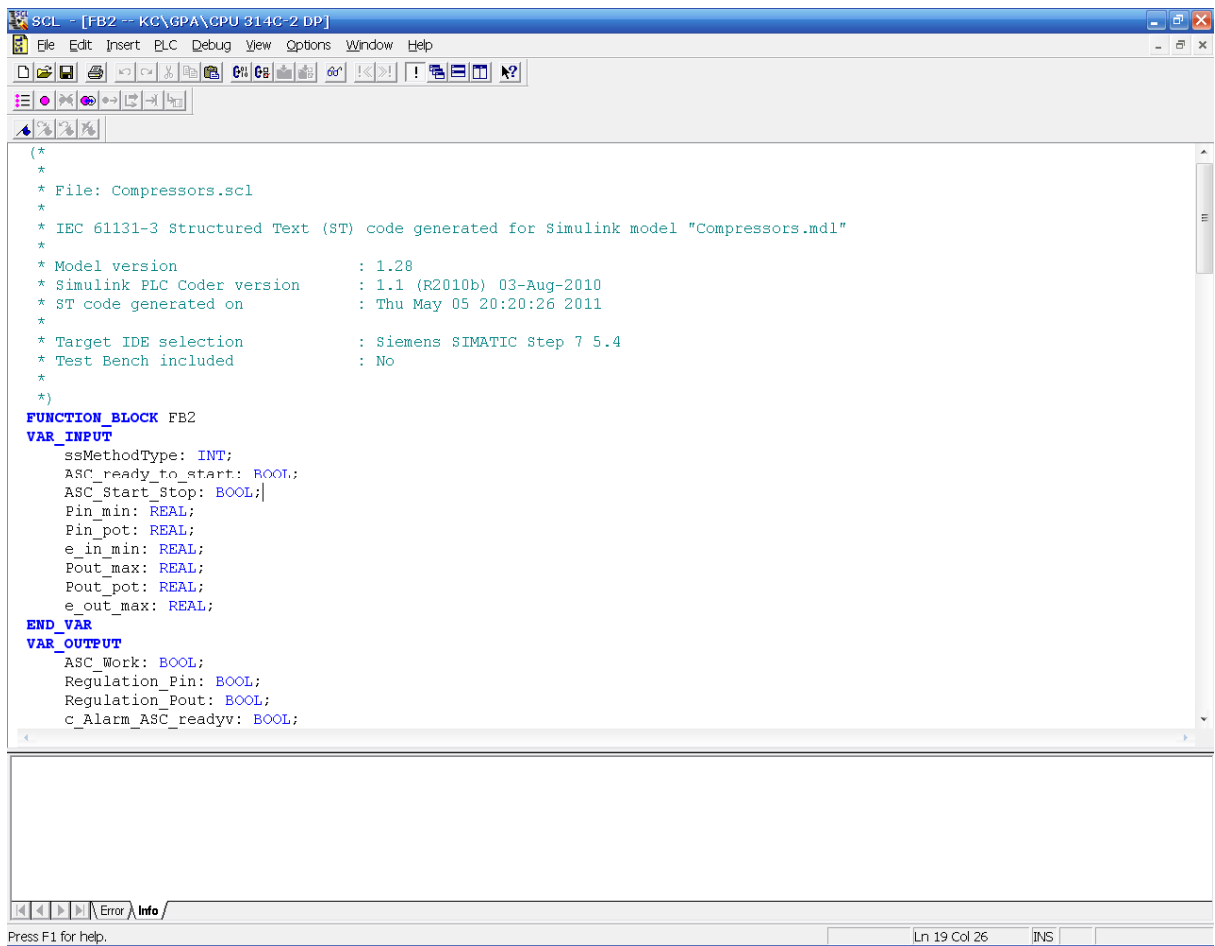


Рисунок 9 – Автоматично згенерований код управляючого функціонального блока ГПА

**Висновки**

Запропоновано і апробовано уніфіковану технологію генерування управляючих функціональних блоків на основі математичних моделей і алгоритмів керування технологічними об'єктами при побудові систем управління об'єктами ГТС.

За результатами проведених дослідних і проектних робіт розроблено управляючі функціональні блоки для програмованих логічних контролерів САК КЦ. Апробація запропонованої технології свідчить про доцільність і перспективність застосування такого підходу для підвищення техніко-економічних показників (оперативність, якість, вартість) при вирішенні задач побудови систем управління об'єктами ГТС.

**Література**

1 Назаренко І.В. Організація і компоненти систем диспетчерського керування компресорними станціями / І.В.Назаренко, М.Я.Николайчук // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – №21. – С. 83-86.

2 IEC (International Electrotechnical Commission) 61131-3, 2nd Ed., Programmable controllers – Programming languages, Geneva. - 1999.

3 Дьяконов В. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. Серия: библиотека профессионала / В.Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2008. – 800 с.

4 S7-SCL V5.1 для S7-300/S7-400. Руководство. Siemens (6ES7811-1CC04-8BA0), 09/2000. - 366 с.

5 Программирование с помощью STEP 7 V5.3. Руководство. Siemens (A5E00261405-01), 01/2004. – 622 с.

6 Николайчук М.Я., Назаренко І.В. Моделювання та імітація компонентів систем диспетчерського керування компресорними станціями на базі апаратно-програмних засобів «Siemens» і пакету MATLAB: Ановані матеріали XXVIII(III) Міжнародної міжвузівської школи-семінару «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі МіЗД ТС -2011», (м. Івано-Франківськ, 2011). – с. 8.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
18.06.12  
Рекомендована до друку професором  
Заміховським Л.М.*