

2. Импульсные преобразователи: flyback. Обратногоходовой преобразователь. – Режим доступа: <https://bast.ru/articles/impulsnie-preobrazovateli-flyback-obratnohodovoi-preobrazovatel>. – Дата доступа: 15.09.2022.
3. Сердечник Ш-образный E20/10/6 (EF 20) № 87. Документация. – Режим доступа: <https://www.belchip.by/sitedocs/17145.pdf>. – Дата доступа: 17.09.2022.

УДК 62-503.55

ПАРАЎНАЛЬНА-СУПАСТАЎЛЯЛЬНЫ АНАЛІЗ АСНОЎНЫХ МОЎ ПРАГРАМАВАННЯ ЛАГІЧНЫХ КАНТРОЛЕРАЎ

А. Я. Запольскі, Ю. В. Крышнеў, А. В. Ковалеў, Ю. Я. Котава

*Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны
ўніверсітэт імя П. В. Сухого», Рэспубліка Беларусь*

Разгледжаны асноўныя мовы праграмавання лагічных кантролераў міжнароднага стандарту МЭК 61131 і зроблены іх параўнальна – супастаўляльны аналіз.

Ключавыя словы: праграмуемы лагічны кантролер, стандарт МЭК 61131, графічная мова, рэлейна-кантактная схема, тэкставая мова праграмавання нізкага ўзроўню, высокаўзроўневая графічная мова праграмавання, SCADA-сістэма, HMI-сістэма.

COMPARATIVE ANALYSIS THE MAIN PROGRAMMING LANGUAGES OF THE PLC

A. Y. Zapolski, Y. V. Kryshneu, A. V. Kavaleu, Y. Y. Kotava

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The report examines the main PLC programming languages of the international standard and makes a comparative analysis of them.

Keywords: programmable logic controller, IEC 61131 standard, graphic language, relay contact diagram, low-level text programming language, high-level graphic programming language, SCADA system, HMI system.

Праграмуемы лагічны кантролер (ПЛК) – спецыяльная разнавіднасць электроннай вылічальнай машыны, якая выкарыстоўваецца для аўтаматызацыі тэхналагічных працэсаў, у сістэмах аўтаматызацыі жылых памяшканняў, робата-тэхніцы. Праграмнае забеспячэнне (ПЗ) сучасных ПЛК з убудаванай аперацыйнай сістэмай (АС) можа быць распрацавана як з выкарыстаннем традыцыйных моў (C, Pascal), так і з ужываннем спецыялізаваных. Традыцыйная тэхналогія патрабуе ад распрацоўніка ведаў не толькі ў галіне алгарытмічных моў праграмавання, але і асаблівасцяў АС, апаратных магчымасцяў дадзенага ПЛК і арганізацыі сістэмы ўводу-вываду. А распрацаванае ПЗ будзе прывязана толькі да дадзенага тыпу ПЛК і не можа быць перанесена на іншую апаратна-праграмную платформу. Спецыяльныя стандартызаваныя платформа-незалежныя мовы праграмавання ПЛК могуць быць ужыты для розных тыпаў ПЛК. Да спецыяльных моў праграмавання, рэгламентаваных стандартам МЭК 61131 (*IEC 61131, EN 61131*) адносяцца: графічныя мовы *FBD, LD, SFC* і тэкставыя *ST*, а таксама іх адгалінаванні [1, 2].

Мова рэлейных або лесвічных дыяграм *LD (Ladder Diagram, LAD)* – графічная мова стандарту МЭК-61131 для праграмавання ПЛК. Як такой, мова рэлейных схем існавала яшчэ ў часы Томаса Эдысана, і толькі ў пачатку 1970-х была адаптавана для першых ПЛК са з'яўленнем у пакетах праграмавання кампаній *Modicon* і *Allen-Bradly*. Сінтаксіс мовы зручны для замены лагічных схем, выкананых на рэлейнай

тэхніцы. Праграма на гэтай мове мае інтуітыўна зразумелы інжынерам-электрыкам графічны інтэрфейс, які прадстаўляе лагічныя аперацыі як электрычны ланцуг з кантактамі. Мова *LD* прызначана для апісання лагічных выказаў любога ўзроўню складанасці і графічнага прадстаўлення булевых аперацый. Элементы арганізуюцца ў сетку рэлейна-кантактных схем. Кожнаму кантакту ставіцца ў адпаведнасць лагічная пераменная, якая вызначае яго стан (*true* або *false*). Паслядоўнае злучэнне кантактаў або ланцугоў адпавядае лагічнай аперацыі *i/AND*, паралельнае – або *OR*. Нармальна замкнёны (інверсны) кантакт раўназначны лагічнай аперацыі *НЕ*. Графічныя сімвалы мовы *LD* адпавядаюць элементам электрычных ланцугоў і маюць тыя ж назвы і абазначэнні. Праграма на мове *LD* выконваецца паслядоўна. У кожным рабочым цыкле аднаразова выконваюцца ўсе ланцугі, якія ўваходзяць у сетку. Любая пераменная ў рамках аднаго ланцуга заўсёды мае адно і тое ж значэнне. Калі нават рэле ў ланцугу зменіць пераменную, то новае значэнне паступіць на кантакты толькі ў наступным цыкле. Дзякуючы жорсткаму парадку выканання праграмы захоўваецца устойлівасць пры наяўнасці зваротных сувязяў [1].

Мова *FBD* – графічная мова праграмавання ПЛК, якая зручная для прыкладных спецыялістаў, якія не маюць спецыяльнай падрыхтоўкі ў праграмаванні. Найбольш падыходзіць для кіравання бесперапыннымі працэсамі. Праграма ўтвараецца са спісу ланцугоў, якія выконваюцца паслядоўна. Ланцугі могуць мець пазнакі. Інструкцыя пераходу на пазнаку дазваляе змяняць паслядоўнасць выканання ланцугоў для праграмавання умоў і цыклаў. Пры праграмаванні выкарыстоўваюцца наборы бібліятэчных блокаў і ўласныя блокі, таксама напісаныя на *FBD* або іншых мовах МЭК 61131-3. Блок – гэта падпраграма, функцыя або функцыянальны блок. Кожны асобны ланцуг ўяўляе з сябе выраз, складзены графічна з асобных элементаў. Да выхаду блока падключаецца наступны блок, утвараючы ланцуг, у якой усе блокі выконваюцца строга ў парадку іх злучэння. Вынік вылічэння ланцуга запісваецца ва ўнутраную пераменную або падаецца на выхад ПЛК. Пры неабходнасці кіравання выклікам блокаў у іх дадаюцца спецыяльныя ўваходы і выходы *ENO*. Лагічны нуль на ўваходзе *EN* забараняе выклік блока. Выхад *ENO* выкарыстоўваецца для індывідуальнай памылкі ў блоку і дазваляе спыніць вылічэнне рэшткі ланцуга. Жорсткая паслядоўнасць выканання прыводзіць да простага ўнутранай структуры каманд, якая транслюецца ў хуткі і надзейны код. Мова *FBD* вельмі выразна адлюстроўвае ўзаемасувязь уваходаў і выхадаў дыяграмы. Пры ўмове якаснай прапрацоўкі алгарытму з пазіцыі перадачы сігналаў, яго прадстаўленне ў выглядзе *FBD*-дыяграмы атрымліваецца больш зручным, чым у тэкставых мовах праграмавання.

Мова *CFD* (*Canny Function Diagram*) – адгалінаванне ад мовы *FBD* для праграмавання ПЛК *CANNY7* ў інтэграваным асяроддзі распрацоўкі *CannyLab*. Таксама выкарыстоўваецца ў асяроддзі распрацоўкі *CoDeSys*, дадаючы мове *FBD* метадалогію аб'ектна-арыентаванага праграмавання. Адрозніваецца высокай нагляднасцю, супастаўнай з нагляднасцю прынцыповых схем, але знаходзіцца на больш высокім узроўні абстракцыі, дазваляючы схваць неістотныя дэталі рэалізацыі. Праграма на мове *CFD* уяўляе сабой схему з функцыянальнымі блокамі, якія паслядоўна вылічаюцца з перадачай выніку да наступнага, звязанага з ім, блоку. Функцыянальны блок з'яўляецца графічным элементам функцыянальнай дыяграмы і можа мець некалькі ўваходаў і выхадаў, выкарыстоўваць для вылічэння сваю ўласную памяць, а таксама звяртацца да рэсурсаў аперацыйнай сістэмы кантролера і выкарыстоўваць атрыманыя даныя ў разліках сваіх выходных значэнняў. Любы ўваход або выхад функцыянальнага блока можа быць інвертаваны. У мове *CFD* даныя з'яўляюцца 16-бітнымі цэлымі неадмоўнымі лікамі. Вынікам арыфметычных

операцый будзе лікавае значэнне з ўказанага дыяпазону, а вынікі лагічных операцый прадстаўляюцца значэннямі «1» (*true* – існасць) і «0» (*false* – хлусня).

Мова *CFC* (*Continuous Function Chart*) – высокаўзроўневая графічная мова праграмавання для праектавання сістэм кіравання бесперапыннымі тэхналагічнымі працэсамі, створаная на базе мовы *FBD*, у якой блокі могуць выконвацца ў вольным парадку. Пры праектаванні выкарыстоўваюцца гатовыя функцыянальныя блокі, якія неабходна злучыць паміж сабою і наладзіць параметры. Яны арыентаваны на кіраванне цэлымі тэхналагічнымі адзінкамі (кіраванне клапанамі, матарамі, помпамі, генерацыя аварыйных сігналацый, *PID*-рэгулятары і гэтак далей). Разам з тым, у *CFC* даступныя і стандартныя блокі мовы *FBD*.

Мова праграмавання *SFC* – графічная мова, якая прызначана для праграмавання ПЛК, якая шырока ўжываецца ў *SCADA* і *HMI* пакетах. Дазваляе апісаць логіку работы праграмы на ўзроўні паслядоўных крокаў і ўмоўных пераходаў. Таксама ўжываецца для напісання праграм паслядоўнага кіравання тэхналагічным працэсам, які апісвае яго ў форме, блізкай да дыяграмы станаў. У кожным стане сістэма выконвае дзеянні (падпраграмы) з пэўнымі мадыфікатармі. Праграма на мове *SFC* уключае 2 элементы: крокі і пераходы, якія могуць ўключаць у сябе элементы іншых моў. Лагічныя структуры, звязаныя з крокам, апрацоўваюцца да таго часу, пакуль не адбудзецца падзея, якая прадпіша ПЛК перайсці да апрацоўкі іншага кроку. Аўтаматызаваны працэс уяўляецца ў выглядзе сукупнасці пэўных паслядоўных крокаў, падзеленых (звязаных) пераходамі. Кожнаму пераходу супастаўлена лагічная ўмова, а кроку – сукупнасць дзеянняў. Некаторыя часткі праграмы могуць быць адзелены і прадстаўлены ў асноўнай схеме адным макра-крокам. У сістэме *ISaGRAF* кожная *SFC*-праграма можа кіраваць даччынымі праграмамі. Пры праграмаванні кантролераў сямейства *SIMATIC* выкарыстоўваюцца 2 версіі гэтай мовы: *Graph7* у пакете *STEP7* для кантролераў *S7-300* і *S7-400* і *SFC* для кантролераў *SIMATIC PCS7* [1].

Мова *IL* (*Instruction List*) – тэкставая мова праграмавання нізкага ўзроўню класа асэмплера, прызначаная для праграмавання ПЛК, аўтаматызаваных сістэм кіравання тэхналагічнымі працэсамі і сістэмамі прамысловай аўтаматызацыі. Адносіцца да аднаадрасных моў. Праграма на мове *IL* уяўляе сабой спіс інструкцый/каманд. Магчымы дадатак спецыфічных выклікаў або функцыянальных блокаў, напрыклад, апераций «чытанне», «запіс», «увод/вывад». Дадзенная мова таксама вядома як *STL/AWL* ПЛК [2].

Structured Text (ST) – тэкставая мова праграмавання высокага ўзроўню, прызначаная для праграмавання прамысловых кантролераў і аператарскіх станцый. Шырока выкарыстоўваецца ў *SCADA/HMI/SoftLogic* пакетах. Па структуры і сінтаксісу блізкая да мовы *Pascal*. Зручная для напісання вялікіх праграм, калі алгарытм цяжкі для апісання графічнымі мовамі і для працы з аналагавымі сігналамі і лікамі з плаваючай кропкай. Логіка функцыянальных блокаў ствараецца на мове *C++* і не можа быць зменена ў *ST*-рэдактары. Існуе пашыраны стандарт *IEC 61131-3*, які ўносіць элементы аб'ектна-арыентаванага праграмавання [1].

Наяўнасць некалькіх моў дазваляе карыстальніку выбраць найбольш зручную мову для вырашэння задач з улікам іх спецыфікі. Так для праграмавання прамысловых лагічных кантролераў могуць быць выкарыстаны ўсе мовы стандарта МЭК 61131. Графічныя мовы *LD*, *FBD* і *CFD* падыходзяць для спецыялістаў, якія не маюць спецыяльнай падрыхтоўкі ў праграмаванні. Калі задача звязана з праектаваннем сістэм кіравання бесперапыннымі працэсамі, падыходзіць мова *CFC*. Мовы *SFC* і *ST* ужываюцца для праграмавання *SCADA* і *HMI* сістэм. Мова *IL* шырока ўжываецца для праграмавання аўтаматызаваных сістэм кіравання тэхналагічнымі працэсамі (АСК ТП) і сістэм прамысловай аўтаматызацыі, а мова *ST* – для прагра-

мавання аператарскіх станцый. Для зручнага выкарыстоўвання гэтых моў былі створаны спецыяльныя праграмныя інструментальныя комплексы (*ISaGRAF*, *CoDeSys*, *MULTIPROG*, *SIMATIC STEP 7*, *OpenPCS*, *SOFTLOGIC*, *Concept* і іншыя).

Літаратура

1. Языки программирования промышленных контроллеров (ПРК). – Режим доступа: <https://учебный-центр-армо.рф/assets/files/presentation/jci/sfc.pdf>. – Дата доступа: 01.08.2022.
2. Елькин, И. В. Модель абстрактных функциональных блоков / И. В. Ельки, П. В. Кустарев // Науч.-техн. вестн. ун-та ИТМС. – 2003. – № 4. – С. 55–62.
3. Языки программирования контроллеров. Особенности применения языков FBD, LD. – Режим доступа: <https://na-journal.ru/3-2019-tehnika/1897-yazyki-programirovaniya-kontrol-lerov-osobennosti-primeneniya-yazykov-fbd-ld>. – Дата доступа: 01.08.2022.

УДК 550.348.098.33

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ УГЛОВЫХ
КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ДВИЖЕНИЯ КОЛАЙДЕРА NICA**

К. Д. Поляков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

М. В. Ляблин

Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований», г. Дубна, Российская Федерация

Проведена разработка системы регистрации угловых колебаний и приведены результаты соответствующих измерений.

Ключевые слова: малогабаритный прецизионный лазерный инклинометр, наклон, угловые колебания, мониторинг.

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR RECORDING ANGULAR
OSCILLATIONS OF THE EARTH'S SURFACE TO INVESTIGATE
THE MOTION OF THE NICA COLLIDER**

K. D. Polyakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

M. V. Lyablin

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russian Federation

The system of angular oscillations registration is developed and the results of the corresponding measurements are given.

Keywords: small-sized precision laser inclinometer, tilt, angular oscillation, monitoring.

В современном мире наиболее важные и прорывные исследования в физике элементарных частиц проводятся на сложных технических установках класса мега-сайенс, к которым относятся разного рода реакторы, ускорители частиц, гравитационные антенны и др. Основным требованием к этим установкам для обеспечения чистоты экспериментов и исследований является обеспечение точного положения элементов установки и их стабилизация. Для этих целей идут непрерывные исследо-