

## ЦИФРО-АНАЛОГОВИЙ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС (ЦАОК) “АЛЬФА-1” ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ ОБ’ЄКТАМИ

---

**Анотація.** Статтю присвячено створенню в 1960 році в Обчислювальному центрі Академії наук України (з 1962 р. – Інститут кібернетики) першого радянського цифро-аналогового обчислювального комплексу (ЦАОК) “Альфа-1”. Наведено коротку характеристику АОМ МПТ-9 та ЦОМ ЦЕМ-1, використаних в ЦАОК “Альфа-1”, і розробленого блока зв’язку для об’єднання цих машин в гібридний обчислювальний комплекс.

**Ключові слова:** система управління, динамічний об’єкт, аналогова обчислювальна машина, цифрова обчислювальна машина, блок зв’язку, цифро-аналоговий обчислювальний комплекс.

**Аннотация.** Статья посвящена созданию в 1960 году в Вычислительном центре Академии наук Украины (с 1962 г. – Институт кибернетики) первого советского цифро-аналогового вычислительного комплекса (ЦАВК) “Альфа-1”. Приведены краткие характеристики АВМ МПТ-9 и ЦВМ ЦЭМ-1, использованных в ЦАВК “Альфа-1”, и разработанного устройства для объединения этих машин в гибридный вычислительный комплекс.

**Ключевые слова:** система управления, динамический объект, аналоговая вычислительная машина, цифровая вычислительная машина, цифро-аналоговый вычислительный комплекс.

**Abstract.** This article is devoted to creation of the first soviet digital-analog computer complex (DACC) named “Alpha-1” in the Computer Centre (since 1962 – the Institute of cybernetics) of the Ukrainian Academy of Sciences in 1960. There are given short characteristics analogous computer MPT-9 and digital computer DEM-1 we used in DACC “Alpha-1” and the connection device that was constructed to joint these machines in the hybrid computer complex.

**Keywords:** control system, dynamic object, analogous computer, digital computer, connection device, digital-analogous computer complex.

До 50-річчя створення першого радянського ЦАОК

### 1. Вступ

“Холодна війна”, що почалася наприкінці 40-х років ХХ століття між капіталістичними країнами НАТО, в першу чергу, США, з одного боку, та СРСР, з другого, вже менше ніж за 10-річчя привела до створення надпотужніших видів “гарячої зброї”: підводних атомних човнів, надводних авіаносців, бомбардувальників-ракетноносців з ядерною зброєю, надзвукових винищувачів, міжконтинентальних ракет, озброєних водневими бомбами.

Великий крок вперед після Другої світової війни зробила і “мирна” промисловість, впровадивши виробництва з енергоємними складними неперервними високодинамічними технологічними процесами.

Певні одиниці воєнної зброї, що, між іншим, теж використовували складні технологічні процеси, як, наприклад, процеси в енергетичній установці атомного підводного човна, та окремі промислові технологічні установки з точки зору керування (управління) ними можуть розглядатись як “об’єкти управління” (ОУ), з якими має справу теорія автоматичного управління (ТАУ) і, в першу чергу, класичний її підрозділ – теорія автоматичного регулювання (ТАР).

На початок 60-х років ТАР являла собою досить потужну і всебічно опрацьовану теорію для побудови замкнених систем автоматичного регулювання (САР) як поодиноких параметрів, так і сукупності параметрів, пов’язаних між собою через процеси, що відбуваються в ОУ (інваріантне керування). Можна навести безліч прикладів застосування САР як у військовій техніці, так і в ОУ цивільного призначення (регулювання та стабілізація курсу

човна, висоти польоту літака, азимуту та кута висоти радіолокаційної антени, потужності атомного реактора, тиску та температури в певній точці хімічного реактора, пов'язаних між собою температур у верхній та нижній частинах простої ректифікаційної колони, призначеної для розподілу бінарних сумішей, або температур в кількох точках складної ректифікаційної колони, призначеної, наприклад, для розподілу нафти на окремі компоненти: бензин, дизельне паливо та мазут та ін.).

Основні задачі, які вирішувала ТАР, були пов'язані з точністю стабілізації заданого значення параметра при наявності збурень, стійкістю САР, забезпеченням нею прийнятних з боку користувача перехідних процесів (з потрібною швидкістю, без перерегулювання або з невеликим перерегулюванням, з отриманням найкращого значення певного критерію якості при таких процесах). ТАР мала, в основному, справу з лінійними динамічними системами.

Але вже тільки вимога до отримання максимальної швидкодії перехідних процесів у динамічному ОУ, що важливо, наприклад, при маневрах підводних човнів, літаків-винищувачів та інших видів військової техніки, при вирішенні задач прицілювання артилерійських систем, наведенні на ціль радіолокаційних антен та при подібних задачах як військового, так і цивільного призначення, приводила до необхідності врахування обмежених ресурсів регулюючого пристрою в системі управління (СУ), що не завжди бралось до уваги при проектуванні САР, та врахування різних обмежень на фазові координати ОУ (наприклад, на швидкість, прискорення та ін.). Побудувати оптимальну СУ за критерієм максимальної швидкодії за таких умов, виходячи з методів класичної ТАР, ставало неможливим. Варто зауважити, що для оцінки якості поведінки ОУ можуть бути більш прийнятними й інші, складніші, критерії оптимальності.

Для вирішення проблеми визначення алгоритму оптимальних СУ для динамічних ОУ з урахуванням різних обмежень, як простих, про які сказано вище, так і більш складних (скажімо, інтегрального типу від характеру поведінки фазових координат ОУ), в 50-х роках минулого століття з'явилися такі потужні теорії, як метод динамічного програмування американського математика Р. Беллмана, та метод, заснований на принципі максимуму, радянського математика Л. Понтрягіна та його колег. Значний вклад у вирішення задачі синтезу оптимальних СУ в цей час був зроблений також відомим радянським вченим у галузі ТАУ О. Фельдбаумом.

Надзвичайно складні (на той час) розрахунки, необхідні для визначення оптимальної поведінки ОУ та для синтезу алгоритму оптимальної СУ за вказаними методами, вимагали включення до складу СУ цифрової обчислювальної машини (ЦОМ). І такі управляючі обчислювальні комплекси (УОК) на базі спеціалізованих бортових ЦОМ наприкінці 50-х років почали проектуватись у складі СУ на ОУ військового призначення (підводних човнах та інших ОУ). В той же час для вирішення різноманітних задач диспетчеризації промислових виробництв, в першу чергу, для їх централізованого контролю та для управління окремими ОУ таких виробництв стали розробляти цифрові управляючі машини широкого призначення (УМШП). Одна з таких машин розроблялась в той час і в Обчислювальному центрі Академії наук УРСР (ОЦ АН УРСР (далі – ОЦ)), який у 1962 році отримав назву Інститут кібернетики.

Оскільки техніка і технологія побудови ЦОМ у ті часи були ще дуже "молодими", то і перші ЦОМ у складі УОК чи УМШП мали ще значні обмеження як за швидкістю, так і за об'ємом їх оперативної пам'яті. Тому, скажімо, провести розрахунки в повному обсязі за вказаними вище математичними методами на бортових ЦОМ не завжди було можливим. Потрібні були попередні дослідження для визначення спрощених алгоритмів функціонування СУ, які б, несуттєво погіршуючи оптимальне значення критерію, могли бути реалізовані при обмежених швидкодії та ресурсах оперативної пам'яті вказаних ЦОМ.

Ці та інші міркування привели до усвідомлення доцільності створення гібридного цифро-аналогового обчислювального комплексу (ЦАОК) для моделювання та дослідження СУ складними динамічними ОУ [1, 2].

Перший радянський (а нам інше невідоме) ЦАОК під назвою “Альфа” (“Альфа”-1) створювався на базі цифрової електронної машини ЦЕМ-1 та аналогової обчислювальної машини (АОМ) – машини сталого струму МПТ-9 типу МПТ-9-2.

## 2. Аналогова обчислювальна машина МПТ-9 як складова ЦАОК “АЛЬФА-1”

Дамо спочатку коротеньку характеристику МПТ-9, що на початку 60-х років вважалась в СРСР машиною середнього класу серед АОМ [3].

МПТ-9 дозволяла інтегрувати системи лінійних диференційних рівнянь до 16-го порядку включно з постійними і змінними коефіцієнтами. Розв’язання вказаних систем досягалось у цій АОМ за допомогою двох типів блоків операційних підсилювачів (ОПП). Одні з них типу БОУ-3М у кількості 16 блоків могли використовуватись для інтегрування однієї чи суми кількох змінних. Інші 32 блоки типу БОУ-4М дозволяли проводити підсумовування кількох змінних. Вони також давали можливість отримати зміну знаку та провести масштабні перетворення однієї чи суми кількох змінних. Змінні могли множитися на постійні коефіцієнти в діапазоні  $0 \div 1$ , що забезпечувалось використанням 24-х тридекадних дільників напруги, і на змінні коефіцієнти за допомогою 10 відповідних блоків, кожен з яких міг забезпечити множення на два змінних коефіцієнти. Цими блоками можна було також відтворювати нелінійні функції часу. Початкові умови інтегрування диференційних рівнянь та постійні збурення змінних у АОМ могли задаватись 24-ма потенціометрами.

Схеми моделювання створювались за допомогою шнурової комутації клем входів і виходів ОПП на 2-х набірних полях, між якими були поділені порівну ОПП, дільники напруги, а також клеми для комутації зовнішніх блоків апаратури. Що ж до блоків змінних коефіцієнтів, то вони могли підключатись за вибором тільки до одного з набірних полів.

Така структура МПТ-9 давала змогу використовувати її або в цілому, або у вигляді двох напівкомплектів при вирішенні задач малого об’єму (двох систем диференційних рівнянь, кожна з яких не перевищувала 8-го порядку).

Варто зазначити, що при розв’язанні задач на АОМ, а особливо задач, пов’язаних з інтегруванням диференційних рівнянь, надзвичайно важливою ставала “проблема 0” на вході ОПП. Останні являли собою своєрідну САР: сигнал із виходу підсилювача компенсував на його вході суму вхідних змінних з точністю до “остаточної похибки”, яка, у свою чергу, підсилювалась і створювала вихідний сигнал підсилювача. Чим більшим був коефіцієнт підсилювання, тим меншою ставала “остаточна похибка”, тим з більшою точністю в АОМ виконувались потрібні операції підсумовування та інтегрування змінних. Але при цьому виникали дві проблеми: перша – перехід підсилювача в режим генерації “паразитних” коливань, як правило, високочастотних; друга – додавання до контрольованої “остаточної похибки” непередбаченого “дрейфу нуля”, в першу чергу, на вході ОПП. Якщо перша вирішувалась завдяки якості електронних схем та конструкції підсилювача, то для розв’язання другої творці АОМ вимушені були вдаватись до різних “хитрощів”.

Дійсно, при загальному коефіцієнті підсилювання в сотні тисяч разів на нульовій частоті в операційних блоках БОУ-3М та БОУ-4М АОМ МПТ-9, для досягнення потрібної точності виконання операцій величина “дрейфу нуля”, приведена до входу підсилювача, не повинна була перевищувати величину  $50 \div 250$  мкВ за 8 годин роботи. Фактично ж вона без додаткових заходів була в десятки разів більшою.

У МПТ-9 для зменшення дрейфу вихідної напруги ОПП використовувались схеми з автоматичною стабілізацією нульового рівня. Такі схеми на вході основного підсилювача мали додатковий паралельний підсилювач, в якому послідовно проводилась спочатку

модуляція низькочастотного вхідного сигналу, потім відбувались підсилення змодульованого сигналу змінного струму та демодуляція змінного сигналу. Такий додатковий канал за його принцип роботи отримав назву тракту МДМ.

Оскільки застосування додаткового підсилювача визначало збільшення коефіцієнта підсилення основного підсилювача в  $k_{\text{МДМ}}$  разів без збільшення дрейфу “0”, то це в той же час визначало зменшення дрейфу приблизно в  $k_{\text{МДМ}}$  разів, де  $k_{\text{МДМ}}$  – коефіцієнт підсилення тракту МДМ.

Модуляція сигналу на вході тракту МДМ в ОПП МПТ-9 відбувалась за допомогою електромеханічного віброперетворювача, що працював на частоті електричної мережі і підключав до входу цього тракту чи то нульову точку ОПП, чи “масу” (абсолютний “0”).

Діапазон напруги змінних на входах і виходах ОПП складав  $-100 \div +100$  В. Потужність електричної енергії, що була необхідна для МПТ-9-2 від однофазної мережі 50 Гц, складала 6 кВт.

### 3. ЦЕМ-1 як цифрова обчислювальна машина у складі ЦАОК “Альфа-1”

ЦЕМ-1 [4] являла собою першу в Радянському Союзі машину послідовної дії і була введена в експлуатацію в листопаді 1953 року в Інституті атомної енергії (ІАЕ) АН СРСР. На той час вона належала до ЦОМ середнього класу (як і МПТ-9 серед АОМ). В ній використовувались як оперативний запам’ятовуючий пристрій (ОЗП) ртутні трубки довжиною приблизно 1,4 м, що працювали як електроакустичні лінії затримки імпульсів, і кожна з них уособлювала окремий канал ОЗП.

Усього був 31 робочий канал і один допоміжний. В одному каналі динамічно розміщувалось 512 імпульсів, первинним джерелом яких був головний генератор імпульсів синхронізації ЦЕМ-1. За нормальної температури приміщення ( $20^\circ$  С) він виробляв імпульси з частотою 512 кГц. При зміні температури змінювалась довжина трубок. Тому при відхиленні температури від нормальної змінювалась частота головного генератора таким чином за допомогою спеціальної системи автоматичного налаштування частоти, побудованої на допоміжному каналі ОЗП, щоб кількість імпульсів у кожному робочому каналі залишалась постійною, тобто 512. Зрозуміло, що для вибраної довжини ртутних трубок ОЗП, відповідній їй кількості імпульсів в трубці (каналі) та для вказаної частоти генератора синхронізуючих імпульсів час обертання кожного імпульсу у відповідному каналі ОЗП складав 1 мс (1000 мкс – великий цикл). Необхідно зауважити, що безпосередня передача імпульсів у кожному каналі за допомогою ультразвукових (надзвукових високочастотних-ВЧ) коливань відбувалась із несучою частотою 12 мГц. Спеціальні генератори ВЧ коливань були встановлені на передаючому кінці кожної ртутної трубки і перетворювали імпульси в каналах на пакети ВЧ коливань. Перетворення електромагнітних ВЧ коливань в ультразвукові на початку трубки і зворотний процес перетворення на її кінці відбувались за допомогою “тоненьких”, товщиною приблизно 1 мм, кварцових пластин. На тих кінцях трубок, що приймали сигнал, були встановлені перші каскади підсилення ВЧ коливань, сигнали з яких йшли у відповідні електронні блоки. Останні забезпечували підтримку циркуляції імпульсів у каналі та їх стробування імпульсами синхронізації.

Вказаній кількості імпульсів в одному каналі відповідало 16 чисел або команд по 32 розряди (4 байти), тобто ємність ОЗП складала 496 ( $31 \cdot 16$ ) чисел чи команд (1984 байти). Час запису в канал або вибірки з каналу числа чи команди складав малий цикл в 62,5 мкс, якщо для цього наступав час у великому циклі. Кожен імпульс ніс значення “0” або “1” для відповідного розряду машинного слова (числа чи команди). Розряди в малому циклі кодувались двійковими числами  $2^0, 2^{-1}, \dots, 2^{-31}$ .

Крім оперативного, в ЦЕМ-1 був передбачений і зовнішній запам’ятовуючий пристрій (ЗЗП) на магнітному барабані з ємністю 4096 чисел чи команд. Але при створенні

ЦАОК “Альфа-1” ЗЗП був вилучений з ЦОМ, а в його конструктивах (стійках-шафах і монтажних блоках) був створений блок зв’язку (БЗ) ЦОМ і АОМ.

ЦЕМ-1 оперувала з 30-розрядними двійковими числами, що розташовувались в розрядах з  $2^{-1}$  по  $2^{-30}$ . Розряд  $2^0$  передавав знак числа, а розряд  $2^{-31}$  використовувався як проміжок між машинними словами. Числа в машині зображались дробом з фіксованим положенням коми, при цьому від’ємні числа передавались додатковим кодом. При вводі в машину кожне число  $x$  повинно було задовольняти умові  $0 \leq x \leq 1 - 2^{-30}$ .

Система команд в ЦЕМ-1 була двоадресною із відсилкою результату на місце другого числа. Кожну адресу було задано номером каналу (5 розрядів) і номером елемента (слова) в каналі (4 розряди). Всього на адресацію слів у каналах витрачалось 18 розрядів у слові-команді. В інших розрядах передавався код операції (4 розряди), два вільних проміжки, 2 резервних розряди і 6 розрядів з ознаками, позначеними літерами  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$  та  $\zeta$ . За допомогою цих ознак проводилась модифікація команд, що при незначному збільшенні елементів у електронних схемах машини давало змогу суттєво розширювати логічні можливості машини, зменшувати об’єм програм та ефективно використовувати ОЗП.

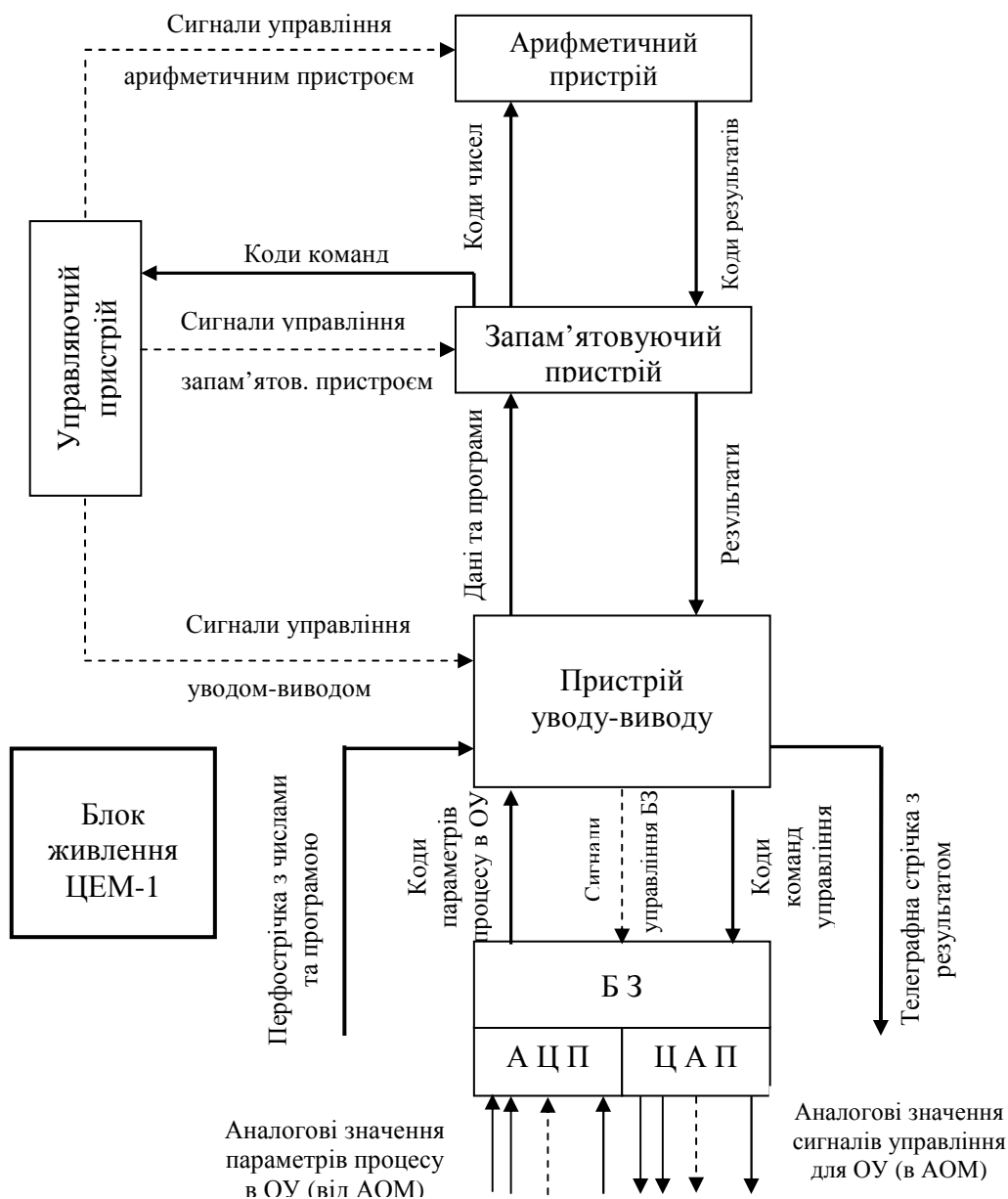


Рис. 1. Функціональна блок-схема ЦЕМ-1 з БЗ

Функціональну блок-схему ЦЕМ-1 з БЗ показано на рис. 1, що дає уявлення про структуру машини. Спочатку вона складалась з 4-х основних пристроїв: управляючого, арифметичного, запам'ятовуючого та вводу-виводу

Короткий опис запам'ятовуючого пристрою був наведений вище у тій частині, що стосувалась ОЗП і була використана в ЦАОК "Альфа-1".

Арифметичний пристрій (АП), як це прийнято в ЦОМ, виконував арифметичні та логічні операції, коди яких задавались, як було сказано, 4-ма розрядами в слові-команді. Команд було всього 12. Їх умовні позначення та призначення наведені в табл. 1.

АП мав у своєму складі 4 короткі ртутні трубки, схеми циркуляції імпульсів у яких були подібні до схем у довгих трубках, що використовувались в каналах ОЗП. Ці короткі трубки: акумулятор суматора А (на 30 розрядів, тобто імпульсів), акумулятор множеного М (на 30 розрядів), акумулятор множника та дільника К (на 31 розряд) та акумулятор частки Ч (на 32 розряди).

При виконанні команд Саб, Ваб, Наб, Ааб, Баб та Маб, для яких було достатньо малого циклу в послідовності імпульсів синхронізації, працював тільки акумулятор А, в якому формувался і результат операції.

Команда Уаб множення множеного, що було вибрано із слова в ОЗП за адресою "а" та розташовувалось в акумуляторі М, на множник, що вибирався за адресою "б" та надсилався в акумулятор К, виконувалась за багато операцій, що складались із зсувів кодів у К вліво, а в М вправо. Це давало можливість формувати в акумуляторі М часткові добутки, а в акумуляторі А їх накопичувати.

Таблиця 1. Таблиця команд ЦЕМ-1

Команда	Призначення
Саб	Складання числа в машинному слові (елементі пам'яті) "а" з числом у слові "б" (далі числа "а" з числом "б")
Ваб	Віднімання від числа "а" числа "б"
Уаб	Множення чисел "а" і "б"
Даб	Ділення числа "б" на число "а"
Наб	Пересилка числа "а" в слово "б" ОЗП
Ааб	Порозрядне логічне множення чисел "а" і "б"
Лаб	Зсув числа "а" вліво на (б+1) розрядів (без блокування переповнення)
Паб	Зсув числа "а" вправо на (б+1) розрядів
Баб	Умове переключення на команду в слові "б" за знаком "+" числа "а"
Маб	Те ж за знаком "-"
Чаб	Увід кодів у ОЗП (спеціальний формат, що не розглядається)
Заб	Вивід кодів із ОЗП (те ж стосовно формату)

При виконанні команди Даб ділене і дільник спрямовувались в акумулятори А і К відповідно, після чого відбувалось віднімання чи додавання дільника в залежності від знаку залишку. Частка формувалась в акумуляторі Ч з наступною відсилкою належних розрядів в А.

Не зупиняючись тут на виконанні інших команд, наведемо дані про швидкість виконання таких операцій:

складання або віднімання                      495 команд/с,  
множення або ділення                              232 команди/с.

Наведемо таблицю (табл. 2), що пояснює призначення ознак модифікації команд. Позначення команд у цій таблиці наведено без їх адресної частини.

Управляючий пристрій (УП) виконував дві основні функції. По-перше, він задавав темп роботи електронним схемам в усіх пристроях машини. По-друге, він забезпечував виконання всіх тих дій, з яких складалось виконання кожної команди, у тому числі перехід

від однієї команди до іншої. УП також, як і АП, мав у своєму складі ртутну трубку, правда, лише одну, на 31 розряд. Ця трубка П була акумулятором команд.

УП відслідковував малі та великі цикли, а також імпульси, що відповідали молодшому ( $2^{-31}$ ) та старшому ( $2^0$ ) розрядам машинних слів. У момент проходження цих імпульсів проводились різні переключення та формування управляючих сигналів. Це дало можливість застосувати в ЦЕМ-1 електронні елементи з помірною швидкодією.

Відносно невелике збільшення (трохи більше, ніж в 2 рази) в секунду кількості операцій складання або віднімання (495) в порівнянні з операціями множення або ділення (232) пояснюється тим, що значний час при виконанні всіх цих двоадресних команд витрачався на очікування надходження із ОЗП слова-команди або слів-чисел. Але, не дивлячись на цей недолік, принцип послідовної дії виконання операцій в ЦЕМ-1 давав змогу значно скоротити кількість електронних схем і ламп та забезпечити помірні енерговитрати.

І все-таки ці витрати були не малі. Кількість електронних ламп в ЦЕМ-1 досягала 1900 штук. Це, головним чином, були пентоди 6П9, подвійні триоди 6Н8С та подвійні діоди 6Х6С.

Таблиця 2. Таблиця ознак модифікації команд ЦЕМ-1

№ п/п	Ознака	Числ. еквівалент	Призначення модифікації	Застосов. з командами	Не застосов. з командами
1	$\alpha$	$2^0$	Заборона очищення суматора в кінці операції	С,В,Н,Б, У,Д,А,М	Л,П
2	$\beta$	$2^{-1}$	Заборона відсилення результату з АП в ОЗП	С,В,Н,У, Д,А	Л,П,Б,М
3	$\gamma$	$2^{-30}$	Посилання числа "а" в суматор зі зворотним знаком	С,В,Н,Л, П,Б,М	У,Д,А
4	$\delta$	$2^{-14}$	Отримання результату зі зворотним знаком	У,Д,А	С,В,Н,Л, П,Б,М
5	$\epsilon$	$2^{-20}$	Посилання в АП нуля замість першого числа і відключення першої адреси	С,В,Н,Л, П,Б,М,А	У,Д
6	$\zeta$	$2^{-4}$	Те ж для другого числа і другої адреси	С,В,Б,М,Д	Н,Л,П,У,А

У порівнянні з прототипами, в яких теж були як запам'ятовуючі пристрої задіяні ртутні ультразвукові лінії затримки сигналів, – американським EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer, Лабораторія балістичних досліджень Армії США, 1946 рік) та англійським EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer, Кембріджський університет, 1949 рік) – в ЦЕМ-1, при порівняно однаковому об'ємі ОЗП та швидкодії обчислень, кількість електронних ламп була значно меншою завдяки більш досконалій архітектурі машини та електронних схем (у 1,5 рази менше за EDSAC та в 3 рази менше за EDVAC).

Пристрій уводу-виводу в початковому вигляді використовував автоматизований телеграфний апарат типу СТА-35, що працював на реєстри уводу-виводу (5 блоків по 6 тригерних схем). Увід програми та чисел міг також проводитись через пристрій фотовводу з перфострічки з 5 робочими доріжками. Десяткові цифри задавались десятково-двійковим кодом. Результат розв'язку задачі міг одночасно друкуватись у десятковому вигляді на телеграфну стрічку та виводитись на перфострічку в десятково-двійковій системі. Ці стрічки могли нести проміжні результати розрахунків і в подальшому знову вводились в ОЗП як початкові дані для продовження розрахунків.

Такий спосіб розв'язку застосовувався в ІАЕ для вирішення на ЦЕМ-1 складних математичних задач. В ЦАОК "Альфа-1" за таким підходом могли проводитись в ЦЕМ-1 попередні розрахунки для синтезу алгоритмів оптимального управління динамічними ОУ з використанням методів Р. Беллмана, Л. Понтрягіна чи інших з отриманням алгоритму в стислому вигляді з подальшим використанням його для дослідження СУ в ЦАОК "Альфа-1". Саме так і планувалось застосування такого комплексу.

#### 4. Блок зв'язку ЦОМ і АОМ та блок живлення ЦОМ

Для створення ЦАОК був розроблений блок зв'язку (БЗ на рис. 1), що забезпечував перетворення як сигналів з АОМ МПТ-9 ( $-100 \div +100$  В) за допомогою блока аналого-цифрового перетворювання (АЦП), так і передачу сигналів у АОМ з блока цифро-аналогового перетворювання (ЦАП) БЗ (теж  $-100 \div +100$  В). БЗ мав по 8 каналів АЦП та ЦАП, що забезпечували перетворювання сигналів з точністю 0,2% від їх діапазону ( $-100 \div +100$  В).

Ці перетворення проводились за командами ЦЕМ-1, які надходили в БЗ безпосередньо з пристрою вводу-виводу. При моделюванні в АОМ динамічного ОУ перші сигнали являли собою параметри процесу в ОУ, а інші сигнали в аналоговому вигляді передавали в АОМ команди управління для ОУ, що створювались програмою в ЦЕМ-1.

Для зменшення електронних схем у БЗ схеми ЦАП використовувались не тільки для реалізації своєї основної функції стосовно перетворення кодів, що надходили в ЦАП з ЦОМ, в аналогові управляючі сигнали для ОУ, змодельованого в АОМ, а й для формування кодів при аналого-цифровому перетворенні значень параметрів ОУ, що надходили з АОМ.

У першому випадку аналоговий сигнал через вихідний комутатор надходив в один із вихідних каналів БЗ, програмно визначений кодом, який сприймався схемами управління БЗ за сигналами з блока вводу-виводу. У вихідному каналі відповідна електронна схема фіксувала аналогове значення до надходження з ЦОМ нового коду відповідного управляючого сигналу. Тобто управляючі сигнали з БЗ в АОМ надходили як ступінчасті. Але, завдяки вибору потрібного масштабу часу, в АОМ при моделюванні динаміки ОУ такий характер управляючих сигналів не впливав на точність моделювання поведінки ОУ.

У другому випадку використання схем ЦАП в БЗ ці схеми служили для порозрядного формування за відомим принципом, починаючи зі старшого розряду ( $2^{-1}$ ), коду аналогового сигналу. Останній по каналах блока АЦП через вхідний комутатор надходив на схему порівняння аналогового перетворюваного сигналу з поточним аналоговим сигналом, що вироблявся при формуванні в ЦАП коду вхідного сигналу (значення параметра процесу в ОУ). Далі код з ЦАП надходив у блоки регістрів пристрою вводу-виводу і звідти - в ОЗП.

На рис. 1 показані блок живлення (БЖ) ЦЕМ-1 та БЗ. БЖ складався з трансформаторів та випрямлячів на кристалічних діодах ДГЦ-24. Для зменшення маси осереддя трансформаторів їх живлення відбувалось від електричної мережі, частота напруги 220В в якій складала 400 Гц. Для отримання такої мережі в електроцеху ОЦ був встановлений електродвигун, що живився електричною напругою 50 Гц і приводив у дію електрогенератор, який вже і виробляв потрібну напругу для БЖ. ЦЕМ-1 з БЗ витрачали 14-15 кВт.

#### 5. Щодо історії створення ЦАОК "Альфа-1"

Ідея створення ЦАОК в ОЦ виникла після того, як в ОЦ на початку 1959 року прийшов на посаду молодшого наукового співробітника Віктор Іванович Іваненко. Під час роботи над кандидатською дисертацією, що була присвячена розробці однієї спеціальної САР з нелінійним законом регулювання, йому довелось провести чимало досліджень з моделювання системи як на АОМ, так і на ЦОМ, коли можливостей АОМ не вистачало. Зрозумівши можливості обчислювальних машин цих класів для створення СУ складними динамічними



системами, Віктор Іванович звернувся до молодого, але вже визнаного в наукових колах директора ОЦ, члена-кореспондента АН УРСР Віктора Михайловича Глушкова з пропозицією щодо розвитку робіт в ОЦ по ТАУ шляхом створення ЦАОК. Ця пропозиція знайшла відгук у Віктора Михайловича, бо, як впливає з [1], таку ідею він виношував і сам. У квітні 1959 р. В. Іваненко виграє конкурс на посаду старшого наукового співробітника, а вже з 25.12.1959 в ОЦ створюється відділ технічної кібернетики, що в подальшому отримав назву відділу синтезу управляючих систем. Виконувати обов'язки завідуючого цим відділом В.Глушков запропонував В.Іваненку, який і став одночасно науковим керівником розробок ЦАОК в ОЦ.

Перший ЦАОК ("Альфа-1") було створено у відділі технічної кібернетики в 1960 році.

У травні-жовтні група інженерів у складі Денисюка М.Г., Зворигіна Ф.В., Снігура О.О. і Караченця Д.В. за участю техніків Гуляєва В.С., Козьміна П.Д. і Шелудченка Л.М., провівши модернізацію ЦОМ ЦЕМ-1, запустила її в роботу після того, як вона була зібрана у суцільне ціле, бо в лютому О. Снігуром і Д. Караченцем її було розпаяно в Москві на окремі шафи, які потім москвичами були доставлені вантажною автомашиною до Києва. Блок зв'язку ЦОМ та АОМ було розроблено О. Снігуром і Д. Караченцем у листопаді-грудні.

На початку 1961-го року на МПТ-9 В.Іваненком і М.Денисюком було створено модель динаміки зміни курсу кораблем (диференційне рівняння 3-го порядку). Аналогові сигнали "завдання на курс" і "фактичний" курс заводились в БЗ, а із нього йшов сигнал управління на "стерно" корабля. Цей сигнал вироблявся програмою, закладеною в ЦЕМ-1.

9 січня 1961 року ЦАОК "Альфа-1" на цьому модельному ОУ був випробуваний у присутності членів приймальної комісії ОЦ у складі заступника директора ОЦ В.С.Шаманського та керівників відділів ОЦ Іваненка В.І., Михайлова Г.О. та Михалевича В.С.

Контроль за роботою ЦЕМ-1 під час випробувань вів автор цієї статті. Протягом двох хвилин перехідного процесу при зміні "курсу корабля", що відображався на екрані осцилографа з післясвітінням, ЦЕМ-1 дала дві відмови в роботі. Завдяки набутому досвіду, ці відмови настільки швидко були ліквідовані, що на кривій процесу з'явилися тільки дві невеличких "пічки", які В. Іваненко пояснив членам комісії коливаннями напруги в електричній мережі.

Низька надійність ЦЕМ-1 вимагала заходів по її підвищенню. Для цього у відділі була створена група техніків на чолі з молодим фахівцем інженером О.Б.Любанським, яка протягом 1961 року провела чимало роботи по підвищенню надійності ЦАОК "Альфа-1".

Але більш кардинальне рішення керівник роботи і розробники ЦАОК "Альфа-1" бачили у створенні ЦАОК "Альфа-2" шляхом з'єднання АОМ з ЦОМ "Київ" [5], що в той час була найбільш потужною ЦОМ в ОЦ.

## 5. Висновки

Функціональна схема і схемні рішення для електронних вузлів БЗ ЦОМ і АОМ, набуті при створенні ЦАОК "Альфа-1", були використані при створенні О. Снігуром і Д. Караченцем у березні-вересні 1961 року уособленого БЗ, який з'єднав АОМ МПТ-9 з ЦОМ "Київ" і був зроблений на елементній базі цієї ЦОМ. ЦАОК "Альфа-2" було введено в роботу інженерами відділу технічної кібернетики і відділу експлуатації ОЦ (О. Барабан, Л. Самофалова), який очолював на той час один із "аксакалів" обчислювальної техніки в Україні (і в СРСР теж) Л.Н. Дашевський. Перше і успішне випробування ЦАОК "Альфа-2" відбулось у день, коли київське "Динамо" вперше в своїй історії стало чемпіоном Радянського Союзу з футболу (17 жовтня 1961 року).

ЦАОК “Альфа-2” став надійним гібридним обчислювальним комплексом. Вже в листопаді-грудні 1961 року два фахівці з ЧССР провели дослідження розроблених в ЧССР алгоритмів для створеної в ОЦ під керівництвом Б.Н. Малиновського УМШП. Ці алгоритми були призначені для управління за допомогою УМШП генераторними блоками на одній із теплових електростанцій ЧССР.

Після цих досліджень, які виявились успішними, було прийнято рішення про демонтаж ЦОМ ЦЕМ-1 і передачу її в один із вузів України. ЦАОК “Альфа-1” припинив своє існування.

Але ще до того ним зацікавились у науково-дослідному інституті військово-морського флоту з одного із міст під Ленінградом і запропонували провести на ЦАОК дослідження алгоритмів для бортової спеціалізованої ЦОМ у складі УВК атомного підводного човна. Такі дослідження були проведені в 1962-1964 роках за допомогою ЦАОК “Альфа-2” тепер вже не в ОЦ, а в Інституті кібернетики (ІК).

У відділі технічної кібернетики одна група співробітників (Л. Вознюк, Д. Караченець – керівник групи, В. Колеснік) створила аналогову модель енергетичної установки атомного підводного човна (атомний реактор, парогенератор, трубопроводи з рідким натрієм для передачі теплової енергії між реактором та парогенератором, турбіна, гвинт), використавши АОМ МПТ-9 та МН-7, два комплекти нелінійних блоків та два пристрої для моделювання зсуву процесів у часі (для моделей вказаних трубопроводів). Поворот рукоятки потенціометра, який задавав потужність атомного реактора, викликав процеси в аналогових пристроях моделі, що остаточно визначали процес зміни у часі швидкості атомного човна вздовж його осі. Друга група співробітників (Л. Дубіна, О. Снігур-керівник групи, В. Томашов) на двох АОМ МН-7 створила модель руху атомного човна у просторі в залежності від вказаної вище швидкості човна, що визначалась першою моделлю, та положення рулів човна.

Допомогу фахівцям військово-морського (ВМ) інституту у визначенні алгоритмів управління процесами в атомному човні, що моделювались на АОМ, та у програмуванні цих алгоритмів для ЦОМ “Київ” надали співробітники ІК із відділу, керованого В. Шаманським (Б. Пшеничний, М. Яковлев та ін.).

Виконані в ІК роботи дозволили фахівцям ВМ інституту провести на ЦАОК “Альфа-2” численні дослідження по оптимальному управлінню енергетичною установкою та маневрами атомного підводного човна. Такі дослідження проводились також в умовах різних збурень, що створювались у вказаних моделях човна за допомогою генератора випадкових процесів (напруг інфранизьких частот), що на той час під керівництвом В. Іваненка був створений у відділі технічної кібернетики Ф. Зворигінім, В. Томашовим, О. Хохелем [6].

Розробка двох БЗ для об'єднання ЦОМ і АОМ в ЦАОК привела до можливості створення УБЗ – універсального блока зв'язку [7]. Вся потрібна документація для виробництва таких УБЗ відділом технічної кібернетики була передана в створене в 1962 році при ІК конструкторське бюро (КБ). Попередником КБ були ЕВМ – експериментально-виробничі майстерні ОЦ, а потім стало СКБ ММС, що надалі отримало статус ІП ММС.

КБ в 1962-1963 роках виробило малу серію із 5 УБЗ. Чотири з них були швидко розкуплені інститутами військово-промислового комплексу СРСР, а п'ятий пристрій залишився в ІК, і на ньому в 1964 році було зроблено новий варіант ЦАОК “Альфа-3”. В ньому УБЗ об'єднав в ЦАОК ЦОМ М-50 і АОМ МН-14. “Альфа-3” використовувався тривалий час у відділі синтезу управляючих систем, в який було перейменовано відділ технічної кібернетики.

Створення комплексів “Альфа” в ОЦ і далі в ІК на початку 60-х років минулого століття дало можливість суттєво розширити застосування кожної з гілок обчислювальної техніки, аналогової та цифрової, що в той час переживали бурхливий розвиток.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глушков В.М. Вычислительные машины и автоматизация управления производством / В.М. Глушков // Вестник АН СССР. – 1962. – № 4. – С. 86 – 90.
2. Иваненко В.И. О моделировании некоторых новых математических задач / В.И. Иваненко // Комбинированные вычислительные машины. Труды Второй всесоюзной конференции-семинара по теории и методам математического моделирования. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 21 – 29.
3. Основные технические и эксплуатационные характеристики аналоговых вычислительных машин: справочное пособие / Под общ. ред. И.М. Витенберга. – М.: Машиностроение, 1972. – 303 с.
4. Михайлов Г.А. Цифровая электронная машина ЦЭМ-1 / Г.А. Михайлов, Б.Н. Шитиков, Н.А. Явлинский // Проблемы кибернетики. – 1958. – Вып. 1. – С. 190 – 202.
5. Глушков В.М. Вычислительная машина “Киев” / В.М. Глушков, Е.Л. Ющенко. – К., 1962. – 184 с.
6. Зворыгин Ф.В. Генератор случайных напряжений инфранизких частот с любым законом распределения и регулируемым спектром / Ф.В. Зворыгин, В.М. Томашов, О.А. Хохель // Автоматика и приборостроение. – 1963. – № 4. – С. 74 – 78.
7. Караченец Д.В. Универсальный блок связи цифровой и аналоговой вычислительных машин / Д.В. Караченец, А.А. Снегур // Автоматика и приборостроение. – 1961. – № 4. – С. 33 – 36.

*Стаття надійшла до редакції 22.03.2011*