

УДК 006.91:21.03.519.95

О. В. ДЗИСЮК,**В. М. БОЙКО,****А. Б. ГАВРИЛОВ**, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,**Ю. П. РОНДІН**, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, заслужений
винахідник України(Метрологічний центр військових еталонів
Збройних Сил України)**О. В. КОЛОМІЙЦЕВ**, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник, заслужений
винахідник України(Науковий центр Повітряних Сил Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба)

Пропозиції щодо побудови систем траєкторних вимірювань та єдиного часу для мобільного полігонного вимірювально- обчислювального комплексу

Надані пропозиції щодо структур та науково-методичного апарату синтезу перспективних багатопараметричної лазерної інформаційно-вимірювальної системи траєкторних вимірювань та системи єдиного часу з використанням національного еталона часу і частоти, військових еталонів та волоконно-оптичних ліній зв'язку для полігонного вимірювально-обчислювального комплексу Збройних Сил України.

Предложены структура и научно-методический аппарат синтеза перспективных многопараметрической лазерной информационно-измерительной системы траекторных измерений и системы единого времени с использованием национального эталона времени и частоты, военных эталонов и волоконно-оптических линий связи для полигонного измерительно-вычислительного комплекса Вооруженных Сил Украины.

Одним з основних напрямів військово-технічної політики в новій редакції “Воєнної доктрини України”, затвердженій наказом Президента України від 24.09.2015, визначено підвищення бойового потенціалу, відновлення справності, продовження ресурсу, проведення модернізації, створення нових систем і уніфікація зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) силами вітчизняного оборонно-промислового комплексу, у тому числі розробку і виробництво ОВТ за закордонними ліцензіями [1].

Забезпечення високого рівня підготовки військ (сил) з метою виконання завдань за призначенням, визначення та оцінка фактичних властивостей нових (модернізованих) зразків ОВТ, а також виконання робіт з продовження призначених показників термінів служби зразків ОВТ неможливо без сучасної полігонної і випробувальної бази.

На виконання рішень наради щодо доцільності створення полігонного випробувального комплексу (ПВК) Збройних Сил (ЗС) України від 09.09.2015 (до № 1967/з від 10.09.2015) у Генеральному штабі ЗС України розроблено проект Загальних вимог до полігонного випробувального комплексу ЗС України (далі – Вимог). Цей документ визначає загальні підходи до створення єдиного ПВК ЗС України та вимоги, якими слід керуватися при обґрунтуванні оперативно-тактичних вимог (ОТВ) до полігонного вимірювально-обчислювального комплексу (ПВОК) і тактико-технічних вимог (ТТВ) до основних складових ПВК.

Відповідно до п. 1.1 Вимог, затверджених наказом Міністра оборони України від 11.2015, ПВК, у тому числі, призначений для виконання вимірювань та оброблення вимірювальної інформації з метою визначення (перевірки) тактико-технічних характеристик (ТТХ) об'єктів випробувань у різних умовах їх застосування.

Одними з основних завдань ПВК є проведення траєкторних, телеметричних (ТЛМ), бортових та інших вимірювань під час випробувань зразків ОВТ (навчання військ) та отримання в процесі випробувань вимірювальної інформації, необхідної для оцінювання (перевірки) характеристик зразка ОВТ та подальшого його удосконалення. При цьому ПВК повинен забезпечувати проведення випробувань (досліджень) нових та модернізованих зразків ОВТ та їх програмного забезпечення в необхідному районі або на визначеній виробничій базі.

Випробувальна діяльність як один з основних видів наукової і науково-технічної діяльності окрім загального вигляду забезпечення (правове, кадрове, фінансове, матеріально-технічне, інформаційне і методичне з урахуванням специфіки їх здійснення відносно процесу випробувань) вимагає також додаткових видів забезпечення, а саме: полігонного, метрологічного та вимірювально-інформаційного. При цьому рішення задач полігонного та вимірювально-інформаційного забезпечення, як таких, що визначаються специфікою випробувальної діяльності, покладається саме на ПВК [2–11].

Таким чином, результати аналізу основних шляхів розвитку ПВК України згідно з нормативно-правовими документами, а також врахування світового досвіду побудови і використання полігонів та тенденцій розвитку

сучасних зразків ОВТ і наявність необхідної нормативно-правової бази (підстави для розробки програмних і організаційно-плануючих документів розвитку ПВК) у своїй сукупності дозволяють розв'язати висвітлену проблему приведення ПВК ДНВЦ як основної складової випробувальної бази ЗС України у відповідність до вимог, що пред'являються до нього.

Згідно із загальними вимогами до полігонно-випробувального комплексу ЗС України першочерговому відновленню підлягають [2] такі складові МПВОК: система траєкторних вимірювань, система єдиного часу та автоматизована система збирання, передачі та оброблення вимірювальної інформації. Система траєкторних вимірювань МПВОК призначена для отримання необхідних вимірюваних параметрів траєкторій об'єктів вимірювань у заданому просторовому об'ємі із заданою точністю та надійністю [4–11].

Завдання дослідження – розробка пропозицій щодо побудови багатопараметричної лазерної інформаційно-вимірювальної системи (ЛІВС) траєкторних вимірювань (ТВ) літальних апаратів (ЛА) та системи єдиного часу (СЄЧ) для МПВОК.

Сучасний розвиток вимірювальних технологій та ідеологія побудови лазерних систем, що призначені для зовнішньотраєкторних вимірювань ЛА, здійснення об'єктивного контролю тощо, для ПВК значною мірою визначаються усе більш складним і багатфакторним характером процесів, що вивчаються, і явищ, адекватне відображення яких в отримуваних вимірювальних даних вимагає системного підходу як до опису ЛА, що контролюються, так і до методів побудови вимірювальних каналів багатопараметричної ЛІВС.

Використання в структурі системи одномодового багаточастотного з синхронізацією подовжніх мод випромінювання єдиного лазера, частотно-часового методу (ЧЧМ) вимірювання [3], методів виділення подовжніх мод, формування лазерних сигналів, що зондують, тощо дозволяє побудувати канали автоматичного

супроводження ЛА за напрямком АСН з вимірюванням шести його параметрів руху (кутів азимута і місця, похилої дальності, радіальної і кутових швидкостей) [4], передачі команд управління ЛА та, за необхідністю, його розпізнавання.

Використання в структурі системи оптичного електронного модуля (ОЕМ), який складається з телевізійного і інфрачервоного каналів, дозволяє здійснювати пошук, виявлення, захоплення та об'єктивний контроль ЛА у денний і нічний час. Проведені наукові дослідження і розроблені пропозиції щодо побудови багатопараметричної ЛІВС та її вимірювальних каналів для ПВК. Основою для побудови системи є використання ЧЧМ пошуку, розпізнавання і вимірювання параметрів руху ЛА та ширококутового багатоканального високоточного ОЕМ. Система забезпечить:

пошук ЛА в заданій області простору за ОЕМ та за вибраним законом сканування сумарною діаграмою спрямованості (ДС) лазерного випромінювання (ЛВ);

розпізнавання ЛА, за умови формування сигналу, що зондує, зі складною просторово-часовою структурою і додаткової обробки елементів поляризаційної матриці розсіяння ЛА від отриманого поляризаційного поля;

захоплення і стійке кутове автоматичне супроводження ЛА, за умови використання прямих вимірювань від каналу кутових швидкостей і вдосконаленої одновимірної фільтрації для центрованого процесу за методом Калмана – Бьюсі та ОЕМ;

високоточне вимірювання шести параметрів руху ЛА: кутів азимута і місця, похилої дальності, радіальної і кутових (тангенціальних) швидкостей у широкому діапазоні дальностей;

багатоканальну передачу інформації (команд управління) на ЛА за умови використання декількох несучих частот (подовжніх мод);

об'єктивний контроль та спостереження за ЛА, що супроводжується, у денних і нічних умовах;

обробку, відображення, запам'ятовування та передачу по лініях зв'язку (за радіоканалом) до споживачів

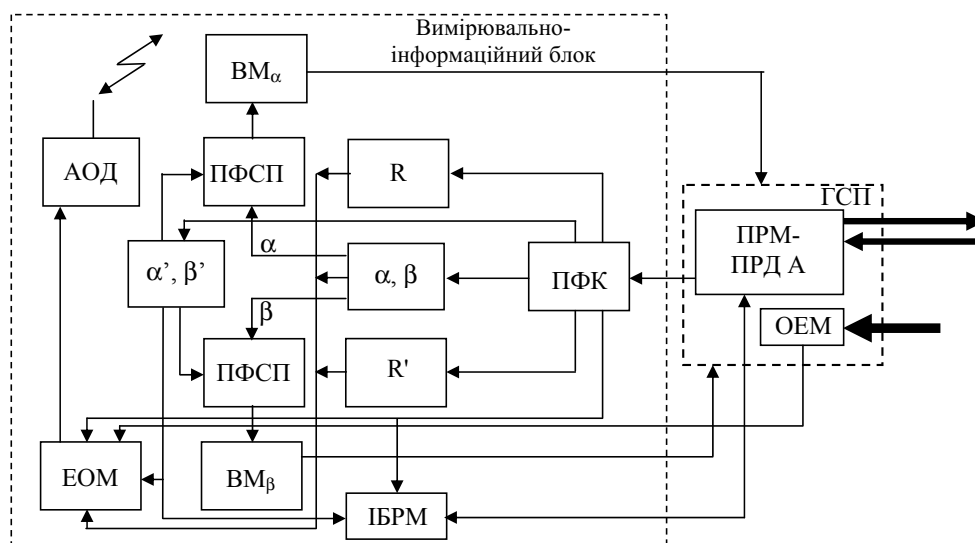


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема багатопараметричної ЛІВС

інформації, що отримується під час проведення випробувань (досліджень) ЛА.

Узагальнена функціональна схема багатопараметричної ЛІВС, що реалізована в мобільному варіанті, зображена на рис. 1, де ПРМ-ПРД А – приймально-передавальна апаратура; ОЕМ – оптико-електронний модуль; ГСП – гіростабілізована платформа; ПФК – пристрій формування каналів; R – канал вимірювання похилої дальності до ЛА; R' – канал вимірювання радіальної швидкості ЛА; α і β – канал вимірювання кутів азимута і місця ЛА; α' і β' – канал вимірювання кутових (тангенціальних) швидкостей ЛА; ПФСП – пристрій формування сигналів похибки по кутах азимута α і місця β ; ВМ – виконавчі механізми по кутах азимута α і місця β ; ЕОМ – електронно-обчислювальна машина; ІБРМ – інформаційний блок з розширеними можливостями та АОД – апаратура обміну даними.

Основна ідея створення багатопараметричної ЛІВС [4] – це селекція подовжніх мод спектра ЛВ для створення окремих та парних оптичних сигналів. Вони підібрані для своїх каналів таким чином, щоб у фотодетекторі (ФТД) можна було селектувати їхні міжмодові биття, що фактично, на відміну від відомих систем, перетворюють сукупний оптичний сигнал у набір частот каналних міжмодових биттів (радіочастоти). Селекція каналів здійснюється каналними фільтрами, налаштованими на свої міжмодові биття. Пари частот (подовжніх мод) можна вибрати так, щоб кожна використовувалася тільки один раз і пари утворювали різні міжмодові биття. Це необхідно для того, щоб неможливо було отримати ті ж міжмодові биття з іншого набору подовжніх мод. Наприклад:

і так далі, де перші чотири подовжні моди можна ви-

$$\begin{aligned}v_0 - v_1 &= \Delta v, \quad v_{10} - v_8 = 2\Delta v, \quad v_2 - v_5 = 3\Delta v, \\v_3 - v_7 &= 4\Delta v, \quad v_4 - v_9 = 5\Delta v,\end{aligned}$$

користати для каналів вимірювання кутових координат ЛА і швидкостей, а п'яту – для передачі інформації.

Принцип роботи багатопараметричної ЛІВС, полягає в такому [6].

У ПРМ-ПРД А зі спектру випромінювання одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод лазера-передавача (Лн) за допомогою МСПМ виділяються необхідні моди та їхні комбінації для створення:

рівносигнального напрямку (РСН) на основі формування сумарної ДС ЛВ, завдяки чотирьом парціальним ДС ЛВ, що частково перетинаються, за умови використання комбінацій подовжніх мод, «підфарбованих» різними частотами міжмодових биттів

$$\begin{aligned}\Delta v_{54} &= v_5 - v_4 = \Delta v_m, \quad \Delta v_{97} = v_9 - v_7 = 2\Delta v_m, \\ \Delta v_{63} &= v_6 - v_3 = 3\Delta v_m, \quad \Delta v_{82} = v_8 - v_2 = 6\Delta v_m;\end{aligned}$$

багатоканальної (N) передачі інформації, за умови використання сигналу подовжніх мод (на несучих частотах v_n);

лазерного сигналу з просторовою модуляцією поляризації, за умови використання сигналу з двох подовжніх мод (несучих частот v_{n1} , v_{n2}).

Зустрічне сканування пар парціальних ДС ЛВ у кожній з двох ортогональних площин (напівперекритті ДС ЛВ) створює РСН, який проходить через ЛА. У разі необхідності виявлення ЛА в заданій точці простору складений з частот міжмодових биттів груповий сигнал сканується у вигляді сумарної ДС ЛВ за допомогою МБД, де кут та напрямок відхилення сумарної ДС ЛВ задається БКД.

Відбиті сигнали від ЛА на частотах міжмодових биттів обробляються ПРМ-ПРД А та розподіляються ПФК по вимірювальних каналах системи.

У каналі вимірювання кутів азимута і місця ЛА з високою точністю вимірюються кути азимута і місця та формуються сигнали похибок по двох осях координат (α і β), що надходять на ПФСП (α і β).

У розроблених пропозиціях щодо створення багатопараметричної ЛІВС траєкторних вимірювань для мобільного ПВОК реалізовані отримані у процесі виконання НДР такі нові методи вимірювання:

1. Метод високоточного вимірювання похилої дальності до ЛА, що враховує запізнювання частот міжмодових биттів, використовує імпульси, що “бланкують”, і дозволяє реалізувати багатоскальне високоточне вимірювання похилої дальності до ЛА, а також усунути неоднозначність вимірювань (патент України на корисну модель № 91562 від 10.07.2014).

2. Метод високоточного вимірювання радіальної швидкості ЛА, що враховує фазове автопідстроювання частоти і дозволяє реалізувати доплерівське високочастотне вимірювання радіальної швидкості ЛА, а також звужити смугу пропускання і збільшити відношення сигнал/шум (патент України на корисну модель № 91561 від 10.07.2014).

3. Метод високоточного вимірювання кутових (тангенціальних) швидкостей ЛА, що використовує різниці зсувів півперіодів обвідних пачок імпульсів частот міжмодових биттів за одне проходження ДС ЛВ у одному напрямку сканування відносно аналогічного півперіоду обвідних у зустрічному напрямку та дозволяє з високою точністю визначити часо-імпульсним методом кутові (тангенціальні) швидкості ЛА, а також компенсувати складові швидкості і прискорення по кутах у каналі АСН (патент України на корисну модель № 91556 від 10.07.2014).

4. Метод стійкого кутового автоматичного супроводження ЛА за напрямом з високоточним вимірюванням кутів азимута і місця, що використовує порівняння зсувів періодів обвідних пачок імпульсів частот міжмодових биттів за одне повне проходження ДС ЛВ у прямому та зворотному напрямках сканування відносно аналогічних періодів обвідних у зворотному напрямку та дозволяє за різницею зсувів обвідних періодів сформувати сигнали похибки за двома осями координат і визначити часо-імпульсним методом з високою точністю кути азимута α та місця β , а також величину та знак кута відхилення ЛА від РСН (патент України на корисну модель № 91563 від 10.07.2014).

Система єдиного часу МПВОК призначена для забезпечення сигналами часу, еталонними частотами

вимірювальних і інших засобів, що діють у складі ПВК та залучаються до проведення випробувань.

Значна кількість засобів траєкторних, ТЛМ, внутрішньостанційних та інших вимірювань, що розміщуються на ЛА, у наземних вимірювальних пунктах і на об'єктах випробувань, інтегруються в єдину вимірювально-інформаційну систему за допомогою апаратури ССЧ, засобів систем збору і передачі інформації, її обробки, а також системи зв'язку і управління.

Система єдиного часу необхідна для синхронізації в єдиному облікованому часі всіх вимірювань, централізованого вмикання і вимикання стрічкопротяжних механізмів пристроїв запису інформації і контрольно-реєструючої апаратури, а також формування спеціальних сигналів, що фіксують початок тої чи іншої характерної події (зльоту літака-мішені, скидання парашутної системи та ін.).

Свої функції ССЧ здійснює шляхом відтворення і зберігання еталонного часу, формування електричних шкал часу, різних часових і синхронізуючих сигналів і передавання їх користувачам. Сформовані апаратурою ССЧ сигнали видаються на контрольно-реєструючі пристрої користувачів, які фіксують параметри, що вимірюються.

Система єдиного часу забезпечує також формування і передачу користувачам сигналів, що відзначають початок відліку часу в кожному випробуванні. За початок відліку приймається момент часу, який визначається початком характерної події, що відбувається при проведенні даного випробування (натурного експерименту) [7].

Для відзначення цього моменту апаратура ССЧ виробляє спеціальний сигнал "Старт", який фіксується на носіях інформації в пристроях засобів вимірювань, що реєструють. Крім цього, сигнал "Старт" використовується для запуску різних приладів програмного управління, управлінням наданням сигналів єдиного часу і як маркерний сигнал. Для централізованого ввімкнення контрольно-реєструючої апаратури користувачів

апаратура ССЧ перед формуванням сигналу "Старт" виробляє спеціальний сигнал "Протяжка".

Синхронна робота засобів вимірювання забезпечується періодичним зведенням частот опорних генераторів і фазуванням шкал часу за спеціальними сигналами, що мають передаватися суб'єктами Служби єдиного часу та еталонних частот [8]. Відповідно до [8] завдання оперативного контролю та управління еталонними сигналами часу і частоти, що використовуються ЗС України, забезпечення єдності й точності вимірювань часу та частоти в ЗС, а також інших військових формуваннях покладені на структурний підрозділ Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України. Він здійснює оперативний контроль еталонних сигналів, що використовуються ЗС, забезпечує єдність та точність вимірювань часу і частоти в ЗС, а також інших військових формуваннях. Зазначений підрозділ повинен мати систему контролю еталонних сигналів, до якої (згідно з [8]) входять технічні засоби Національного наукового центру "Інститут метрології", Метрологічного центру військових еталонів ЗС України Міністерства оборони, які забезпечують контроль і управління передаванням еталонних сигналів та інформаційне обслуговування споживачів таких сигналів.

Основними вимогами до ССЧ ПВК є:

безперервна видача сигналів з частотами (1/300, 1/60, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25, 2000) Гц протягом 24 годин на добу;

похибка синхронізації шкали часу відносно шкали часу UTC:

- у стані стеження за НКА GPS+ГЛОНАСС – не більше 100 нс;
- у стані збереження – не більше 10 нс за добу.

Це означає, що ССЧ ПВК має складатися з декількох підсистем, які, у свою чергу, повинні бути інтегровані як у систему метрологічного забезпечення [9] засобів вимірювальної техніки військового призначення одиниць часу та частоти, що існує в ЗС України, так і в систему

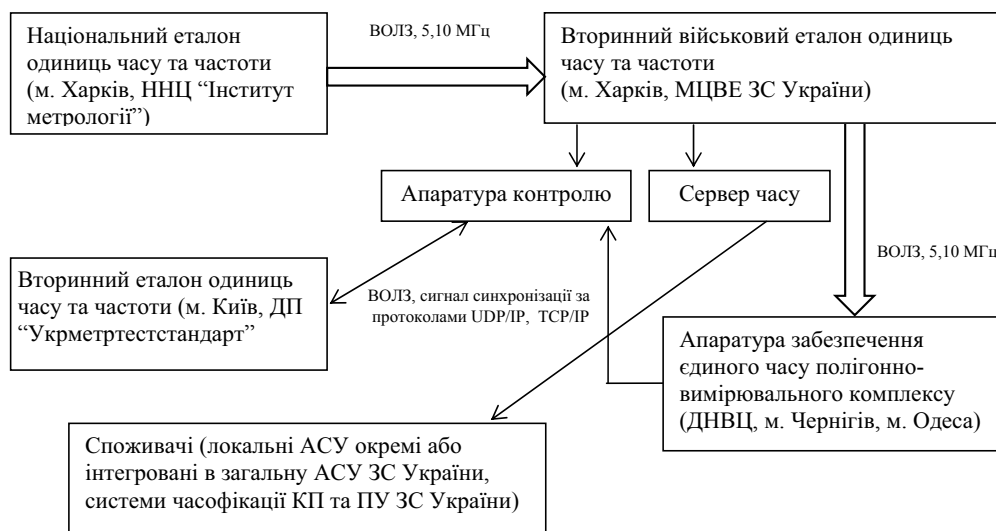


Рис. 2. Структурна схема контролю, управління та передачі еталонних сигналів часу та частоти

контролю і управління еталонними сигналами часу та частоти (в інтересах військових споживачів), яка повинна функціонувати в Службі єдиного часу та еталонних частот [10, 12].

Структурна схема контролю, управління та передавання еталонних сигналів часу та частоти (СЧЧ) з використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) показана на рис. 2.

Структурна схема апаратури забезпечення єдиного часу ПВК зображена на рис. 3.

Технічна реалізація системи контролю, управління та передавання еталонних сигналів часу та частоти (ЧЧ) дозволить забезпечити як єдність і точність вимірювань ЧЧ у ЗС України, так і функціонування системи єдиного часу ПВК з визначеними вимогами до точності.

Висновки:

1. Розроблені пропозиції щодо побудови багатопараметричної ЛІВС траєкторних вимірювань для МПВОК.

2. Визначені структури каналів АСН ЛА з вимірюванням шести параметрів руху ЛА (кутів азимута і місця α , β , кутових швидкостей α^* , β^* , похилої дальності R , радіальної швидкості R^* , а також каналу передачі команд управління на ЛА.

3. Визначена структура OEM, який складається з телевізійного і інфрачервоного каналів для здійснення

пошуку, виявлення та об'єктивного контролю ЛА в денний та нічний час.

4. Запропонована система ТВ МПВОК, згідно з проведеними дослідженнями, забезпечує:

стійку роботу за дальністю до 150 км;

середньоквадратичні похибки вимірювань за дальністю – до 0,4 м, за радіальною швидкістю – 0,1 м/с, за кутовими координатами – до 0,2 кут. хв., кутових швидкостей – до 0,2 рад/с.

5. Розроблена структурна схема апаратурного забезпечення єдиного часу МПВОК.

6. Окреслені підходи до побудови відомчої ССЧ з урахуванням взаємодії з державною ССЧ та еталонних частот.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Воєнна доктрина України : затверджена наказом Президента України від 24.09.2015 № 555/2015.
2. Загальні вимоги до полігонно-вимірювального комплексу Збройних Сил України : затверджені Міністром оборони України від 10.11.2015 № 33779.
3. Алёшин Г. В., Рондин Ю. П., Коломийцев А. В. Модернизированный частотно-временной метод измерений для построения измерительных каналов лазерной высокоточной многопараметрической системы // Збірник наук. праць ХВУ. Х. : ХВУ, 2001. Вып. 8/38. С. 115–117.
4. Коломийцев О. В., Кливец С. І., Руденко Д. В. Мобільна комбінована лазерна інформаційно-вимірювальна система // Системи озброєння і військова техніка. 2014. Вип. 3 (39). С. 108–110.
5. Чинков В. М., Герасимов С. В. Дослідження та обґрунтування критеріїв оптимізації вимірювальних сигналів для контролю технічного стану систем автоматичного управління // Український метрологічний журнал. 2013. № 4. С. 43–47.
6. Коломийцев О. В., Кливец С. І., Петренко О. С., Руденко Д. В. Багатофункціональна лазерна інформаційно-вимірювальна система для полігонного вимірювального комплексу // Системи обробки інформації / ХУПС. 2013. Вип. 8 (115). С. 53–58.
7. Дзисюк О. В., Бойко В. М., Рондін Ю. П., Коломийцев О. В. Актуальні напрями удосконалення системи метрологічного забезпечення державних полігонних випробувань зразків (комплексів) озброєння та військової техніки // Озброєння та військова техніка. 2015. № 3 (7). С. 18–23.
8. Питання Служби єдиного часу і еталонних частот : постанова Кабінету Міністрів України від 02.09.2015 № 664.
9. Чинков В. М., Герасимов С. В. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління // Український метрологічний журнал. 2014. № 1. С. 59–64.
10. Бойко В. М., Гаврилов А. Б., Костира О. О., Рондін Ю. П. Питання створення автономної системи частотно-часового забезпечення споживачів Збройних

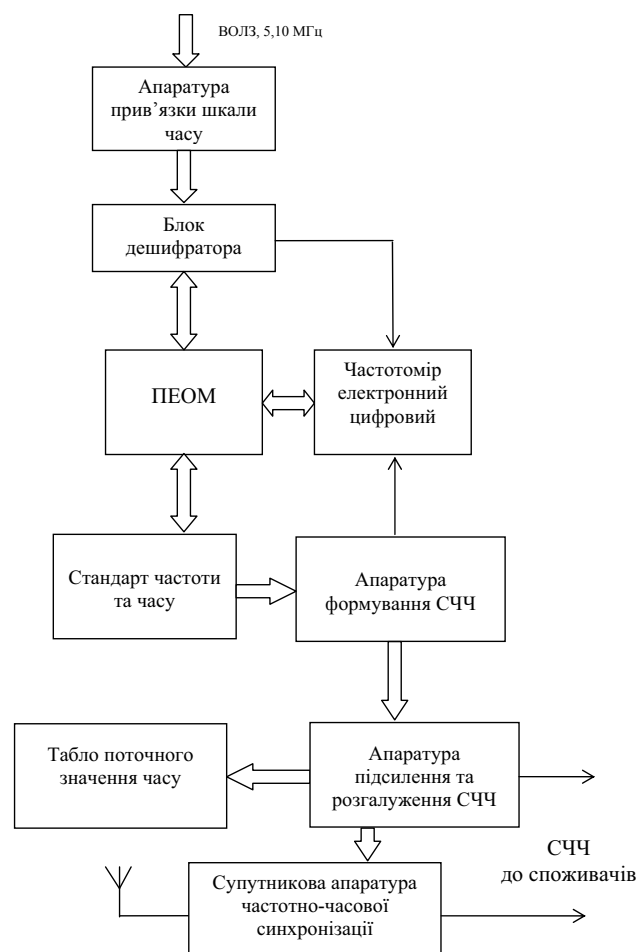


Рис. 3. Структурна схема апаратури забезпечення єдиного часу полігонно-вимірювального комплексу

- Сил України на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти // Метрологія та прилади. 2014. № 5. С. 67–70.
11. Герасимов С. В. Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом // Системи обробки інформації / ХУПС. 2013. Вип. 9 (116). С. 7–11.
12. Бойко В. М., Гаврилов А. Б., Костиця О. О., Рондін Ю. П. Питання створення автономної системи частотно-часового забезпечення споживачів Збройних Сил України на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти // Метрологія та прилади. 2014. № 5. С. 67–70.

Рецензент Б. О. Демідов, д-р техн. наук, проф.
(Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба)