

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА
ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 629.7.054.07

**МОДЕРНІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНОГО СТРІЛЕЦЬКОГО ПРИЦІЛУ
КОМПЛЕКСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**

¹⁾Сенаторов М.В., ²⁾Микитенко В.І., ¹⁾Казенне підприємство СПБ «Арсенал», м.Київ, Україна,
²⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м.Київ, Україна

Стаття присвячена підвищенню ефективності вітчизняного авіаційного парку внаслідок модернізації авіаційного стрілецького прицілу. Одним з головних напрямків модернізації є комплексування інформаційних каналів в прицілі. Існуючі варіанти комплексування не дають очікуваного підвищення ефективності із-за великих похибок або значних габаритів блоків прицілу. Метою даної роботи є аналіз можливих варіантів комплексування інформації в прицілі для його модернізації з огляду на можливість їх реалізації. Була запропонована схема комбінованої візирної головки з рідкокристалічним індикатором для комплексування інформації в прицілі. Попередні розрахунки підтверджують можливість практичної реалізації запропонованого рішення. Надалі передбачається допрацьовувати схему комплексування у напрямі оцінки її конструктивного втілення.

Ключові слова: комплексування зображень, авіаційний приціл, візирна головка

Вступ. Постановка задачі

Як показано в роботі [1], візирної головки (ВГ) авіаційного стрілецького прицілу (АСП) комплексуванням з електронним індикатором може істотно підвищити ефективність вітчизняного авіаційного парку. АСП відноситься до особливого класу систем відображення інформації індивідуального користування. Це зв'язано, по-перше, із специфікою розміщення ВГ на приладовій дошці літального апарату - ВГ повинна займати мінімум об'єму в центральній частині приладової дошки. По-друге, з особливостями взаємодії пілота з ВГ - віддалення очей від напівпрозорого відбивача повинне бути не менше 500 мм [2], а переміщення голови по вертикалі для спостереження прицільної марки на кутах візування допустимі тільки вниз і мають бути мінімальними (переміщення вгору обмежуються ліхтарем кабіни літального апарату).

Метою цієї роботи є аналіз можливих варіантів комплексування інформації в АСП для його модернізації з огляду на можливість їх реалізації.

Основна частина

Перший підхід [1] - вбудовування електронно-променевої трубки (ЕПТ) у ВГ існуючого прицілу. ВГ АСП відноситься до класу оптико-механічних прицілів, оптична схема яких вимагає застосування тонкого об'єктиву типу «склеєний дублет» з відносним отвором 1:2 [2]. При виборі вбудовуваної ЕПТ слід виходити із заданого в [3] контрасту $k = 0,2$, за яким інформація на екрані ЕПТ повинна спостерігатися на тлі навколишнього простору яскравістю

$B_{\phi} = 22300$ кд/м². Тобто яскравість свічення екрану ЕПТ $B_{\text{ЕПТ}}$ повинна задовольняти вимозі:

$$B_{\text{ЕПТ}} \geq B_{\phi} \tau_{\phi} k / \tau_{\text{ЕПТ}}, \quad (1)$$

де: $\tau_{\phi} = 0,5$ – коефіцієнт пропускання в каналі спостереження навколишнього простору (через напівпрозорий відбивач ВГ), а $\tau_{\text{ЕПТ}} \leq 0,2$ – коефіцієнт пропускання в каналі спостереження зображення на екрані ЕПТ (низьке $\tau_{\text{ЕПТ}}$ обумовлене наявністю нерухомої напівпрозорої пластини усередині ВГ).

Після підстановки всіх відомих значень в (1), отримуємо: $B_{\text{ЕПТ}} \geq 11150$ кд/м². Таку яскравість свічення екрану забезпечує, наприклад, ЕПТ типу У8ТП1И, що випускається вітчизняним ДП «НДІ «Еротрон»».

Особливістю тонкого дублету є принципова неможливість усунути астигматизм і пов'язана з цим кривизна поверхні зображення: третя сума Зейделя $S_{III} = 1$, четверта - $S_{IV} \approx 0,67$ [4]. З урахуванням цього координати відступу меридіональної x'_m та сагітальної x'_s складових фокальної поверхні від Гаусової площини при нормованому значенні фокусної відстані об'єктиву $f' = 1$ визначаються відовими формулами [5]

$$x'_m = -0,5 \operatorname{tg}^2 \psi (3 S_{III} + S_{IV}) = -1,835 \operatorname{tg}^2 \psi; \quad (2)$$

$$x'_s = -0,5 \operatorname{tg}^2 \psi (S_{III} + S_{IV}) = -0,835 \operatorname{tg}^2 \psi, \quad (3)$$

де ψ - кут візування прицільної марки.

Якщо взяти до уваги значення коефіцієнта оптичної передачі ВГ АСП (відношення кута повороту дзеркала до зміни кута візування [2]), то відступ сферичної поверхні, по якій переміщається зображення перехрестя прицільної марки, від Гаусової площини визначається як

$$x' = -0,4 (1 - \cos 2,5\psi). \quad (4)$$

Різниця координат $x'_{m(s)}$ і x' уздовж лінії візування призводить до паралактичної помилки лінії візування, меридіональна ρ_m і сагітальна ρ_s складові якої визначаються залежністю

$$\rho_{m(s)} = D^* / 2 [-1 + (\cos \psi) / (x'_{m(s)} - x')],$$

де D^* - нормоване значення діаметра вихідної зіниці об'єктиву з урахуванням він'єтування оправою рухомого дзеркала, а координати x'_m , x'_s та x' визначаються формулами (2), (3) і (4).

На рис. 1 представлені графіки залежностей $\rho_m(\psi)$ і $\rho_s(\psi)$ - криві 1 і 2 відповідно.

Якщо врахувати, що екран вбудовуваною ЕПТ У8ТП1И має плоску форму, то x'_m і x'_s зумовлять наявність паралактичної помилки при спостереженні зображення, сформованого на екрані ЕПТ, меридіональна ρ_m і сагітальна ρ_s складові якої визначаються залежністю:

$$\rho_{m(s)} = D / 2 [-1 + (\cos \psi) / (x'_{m(s)})],$$

де $D = 0,5$ - нормоване значення вихідної зіниці об'єктиву.

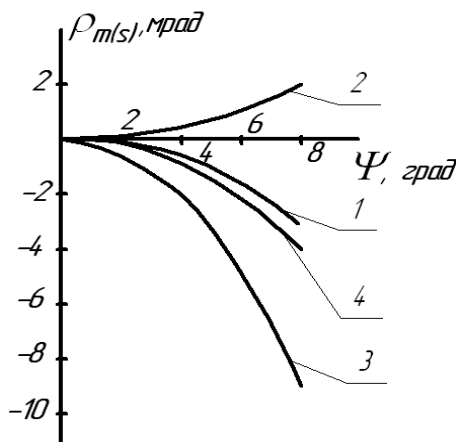


Рис. 1. Графіки залежності $\rho_{m(s)}(\psi)$

Як впливає з приведених графіків залежностей $\rho_m(\psi)$ та $\rho_s(\psi)$ - рис. 1, криві 3 і 4 відповідно, - в каналах візування прицільної марки і спостереження екрану ЕПТ спостерігається різна паралактична помилка. На граничних кутах різниця складає 5,8 мрад (меридіональна складова) і 6,0 мрад (сагітальна складова). Отже при вбудовуванні ЕПТ у ВГ АСП можна реалізувати тільки режим огляду. Режим прицілювання, коли штатна прицільна марка поєднується з телевізійним зображенням цілі, сформованим на екрані ЕПТ, реалізувати неможливо внаслідок «розповзання» зображень при переміщенні голови спостерігача.

Отже, розглянутий варіант модернізації не надасть очікуваного підвищення ефективності із-за великих паралактичних помилок.

Другий підхід - заміна ВГ на індикатор на лобовому склі (ІЛС) «Зрачок-2» [6]. ІЛС відноситься до класу оптико-електронних індикаторів, оптична схема яких базується на двокомпонентному об'єктиві із значною відстанню між компонентами [7], у фокальній площині якого встановлений екран ЕПТ. Зображення прицільної марки формується на екрані ЕПТ, а об'єktiv має відносний отвір 1:1. Специфікою ІЛС «Зрачок-2» є застосування подвоєного напівпрозорого відбивача для скорочення переміщень голови по вертикалі при спостереженні прицільної марки і об'єktiv з діаметром вихідної зіниці 130 мм.

Для того, щоб виключити переміщення голови вгору при спостереженні перехрестя прицільної марки на максимальному куті візування вниз, нижній напівпрозорий відбивач повинен бути віддалений від об'єktiv на 67,5 мм. Для того, щоб перехрестя прицільної марки на максимальному куті візування вгору спостерігалось при переміщенні голови вниз на величину не більше 50 мм, верхній напівпрозорий відбивач повинен бути віддалений від об'єktiv на 142 мм. При цьому переміщення голови по горизонталі при спостереженні перехрестя прицільної марки на максимальних кутах візування не перевищать 45 мм.

Враховуючи, що тут $\tau_{ЕПТ} \geq 0,35$ і потрібна яскравість свічення екрану ЕПТ знижується до 6400 кд/м^2 , також можлива орієнтація на українського виробника ЕПТ. Отже, ІЛС забезпечує рішення всіх завдань, що покладаються на приціл при модернізації. Єдиним проблемним питанням тут залишаються габарити ІЛС в об'ємі приладової дошки.

Третій підхід можливо реалізувати з використанням елементної бази зарубіжного виробництва. Сучасні матричні дисплеї забезпечують високу яскравість при малих габаритах і великому просторовому розділенні. Наприклад, рідкокристалічна (РК) матриця 8K4K D-ILA має розмір пікселя 4,8 мкм і діагональ 44,6 мм [8].

Оцінимо можливість створення об'єktiv для такої ВГ, виходячи з критерію якості Д.С.Волосова [9]:

$$0,1 A f^{1/2} \operatorname{tg} \beta \leq C_d, \quad (5)$$

де: $A = D: f'$ - відносний отвір об'єktivу; β - половина поля зору, яка визначається по формулі:

$$\operatorname{tg} \beta = d/2 f', \quad (6)$$

d - діагональ матриці.

Значення C_d у високоякісних об'єктивах не перевищує 0,24. Підставляючи в (5) формулу (6), а також вираз для відносного отвору і відомі значення d і C_d , знаходимо взаємозв'язок між діаметром вихідної зіниці об'єктиву і його фокусом

$$D \leq 0,1076 f^{3/2}. \quad (7)$$

Основною проблемою при такій модернізації є раціональна організація інформаційного поля зору в діапазоні, відповідному діапазону кутів візування ІЛС [10]. На думку авторів, все інформаційне поле повинне бути розділене на дві горизонтальні ділянки, що перекриваються (перекриття 2°). Центри верхньої 1 і нижньої 2 ділянок полів зору на рис. 2 позначені відповідно O_v і O_n . Тобто вертикальна складова β_v інформаційного поля зору, сформованого на ЖК індикаторі, повинна бути 13° .

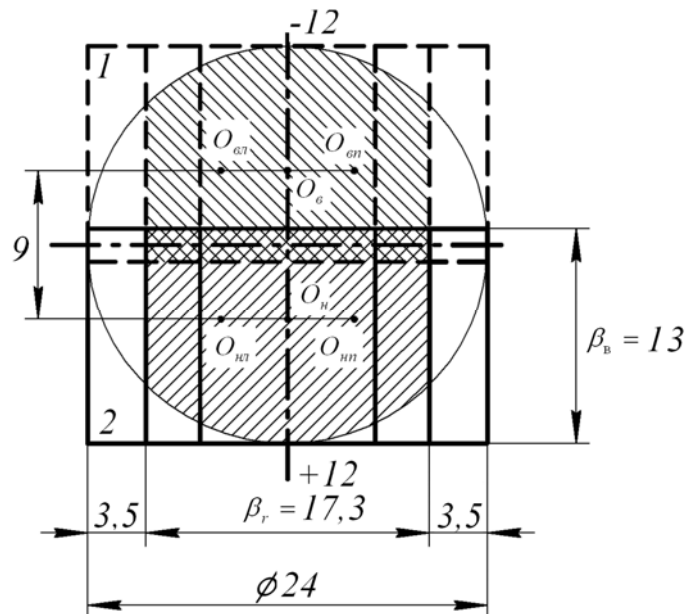


Рис. 2. Інформаційне поле зору ВГ, де: 1 - верхня ділянка поля зору (пунктир), 2 - нижня ділянка поля зору; розмірності в градусах

Звідси слідує необхідність сканування поля зору по вертикалі на величину 9° . При стандартному форматі РК індикатора 3:4 горизонтальний розмір β_r інформаційного поля зору має бути $17,3^\circ$, а половина загального поля зору β має бути рівним $10,83^\circ$. З урахуванням цього з (6) знаходимо $f' = 116,6$ мм. Підставляючи знайдене значення f' в (7) знаходимо: $D \leq 135,5$ мм. Накладаючи на цю умову габаритні обмеження, приймаємо $D = 116,6$ мм, тобто $A=1:1$. Як видно з рис. 2, горизонтальний розмір інформаційного поля β_r не перекриває діапазон 24° - різниця з кожного боку складає по $3,35^\circ$. Звідси слідує необхідність сканування поля зору по горизонталі на величину $\pm 3,35^\circ$. Центри верхньої лівої і правої ділянок поля зору на рис. 2 відповідно позначені $O_{вл}$ і $O_{вп}$, а центри нижньої лівої і правої ділянок поля зору позначені відповідно $O_{нл}$ і $O_{нп}$. Отже, завдання технічної реалізації комплексування інформації в АСП зводиться до створення комбінованої ВГ з внутрішнім скануванням (рис. 3). До складу оптичної схеми входять: об'єктив 1, у фокальній площині якого встанов-

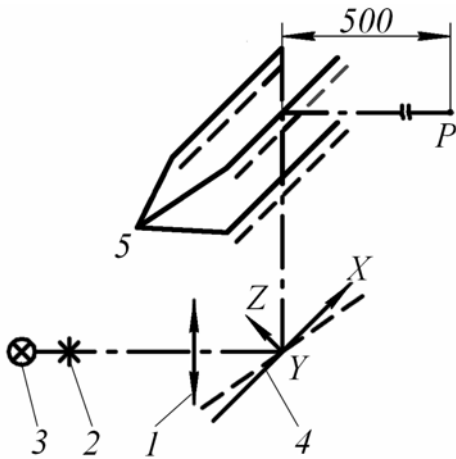


Рис. 3. Принципова оптична схема комбінованої ВГ (позначення дані в тексті)

лений РК індикатор 2 з джерелом світла 3, дзеркало сканування 4 і напівпрозорий рухомий відбивач 5. За прямокутної форми поля зору апертура вихідної зіниці об'єктиву теж може мати прямокутну форму, тобто об'єктив повинен мати розміри у перетині $82 \times 82 \text{ мм}^2$.

Дзеркало сканування 4 повинне займати два фіксовані положення при повороті навколо осі Y (вісь перпендикулярна площині креслення): кути нахилу до оптичної осі об'єктиву $45 \pm 2,25^\circ$. При обертанні навколо осі X (вісь - у площині креслення перпендикулярно нормалі Z до дзеркала або співпадає з оптичною віссю об'єктиву) дзеркало сканування 4 займає три фіксовані положення: 0° і $\pm 3,35^\circ$. Для того, щоб виключити

переміщення голови вгору при спостереженні перехрестя прицільної марки на максимальному куті візування вниз, напівпрозорий відбивач має бути віддаленим від оптичної осі об'єктиву на 81 мм.

При такій оптичній схемі віддалення очей спостерігача (на рис. 2 точка спостереження позначена P) від об'єктиву при нижньому положенні відбивача досягає 637 мм і миттєве поле зору спостерігача (частина поля зору, що спостерігається двома очима при фіксованому положенні голови) при середній базі очей 66 мм складає $7,15^\circ \times 13^\circ$. На рис. 4 а) положення цього миттєвого поля зору при куті нахилу $42,75^\circ$ дзеркала сканування показано пунктиром і позначене цифрою I.

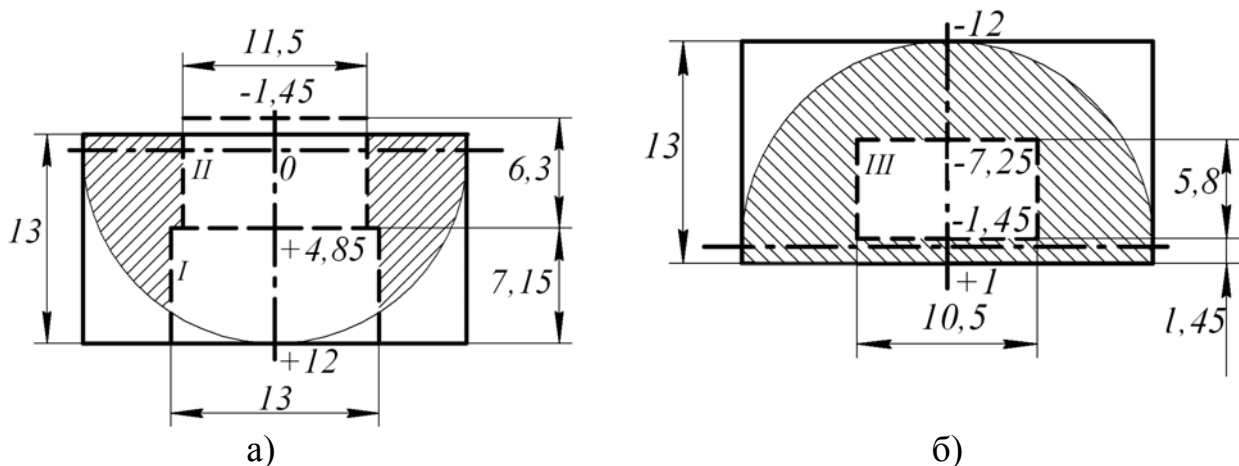


Рис. 4. Положення миттєвих полів зору; розмірності в градусах, зони невидимості заштриховані

Для того, щоб виключити переміщення голови вгору при спостереженні перехрестя прицільної марки на куті візування $+4,85^\circ$, напівпрозорий відбивач має бути віддалений на 171 мм від оптичної осі об'єктиву. У цьому випадку віддалення очей спостерігача від об'єктиву при середньому положенні відбивача

досягає 720 мм, і миттєве поле зору складе $6,3^\circ \times 11,5^\circ$. На рис. 4 зліва положення цього миттєвого поля зору показане пунктиром і позначене цифрою II. Повороти дзеркала сканування навколо осі X на кут $\pm 3,35^\circ$ практично не впливають на положення меж миттєвого поля зору. Як видно з рис. 4, сумарне миттєве поле зору перекриває на $0,45^\circ$ вертикальну складову нижньої ділянки поля зору, тобто вертикальні переміщення голови виключені. Миттєве поле зору не перекриває горизонтальну складову нижньої ділянки поля зору (зона невидимості $\pm 6,25^\circ$), тому переміщення голови по горизонту складуть ± 79 мм.

Для того, щоб виключити переміщення голови при спостереженні перехрестя прицільної марки на куті візування $-1,45^\circ$ при куті нахилу дзеркала $47,25^\circ$, напівпрозорий відбивач повинен бути віддалений від оптичної осі об'єктиву на 240 мм. В цьому випадку віддалення очей спостерігача від об'єктиву при верхньому положенні відбивача складає 804 мм і миттєве поле зору складе $5,8^\circ \times 10,5^\circ$. На рис. 4,б) положення цього миттєвого поля зору показане пунктиром і позначене цифрою III. Як видно з рисунку, миттєве поле зору не перекриває вертикальну складову верхньої ділянки поля зору, тому потрібні переміщення голови по вертикалі складуть: вгору 20 мм при візуванні кута $+1^\circ$ і вниз 67 мм вниз при візуванні максимального кута вгору. Миттєве поле зору також не перекриває горизонтальну складову верхньої ділянки поля зору (зона невидимості $\pm 6,75^\circ$), тому можливі переміщення голови по горизонту складуть ± 95 мм.

Як показує теорія [11], поворот дзеркала навколо осей Y і X викликає три ефекти: бічне відхилення променя, нахил зображення і відхилення променя по вертикалі. Зокрема, якщо вісь X перпендикулярна нормалі до дзеркала, то проекції орта A' відбитого променя на осі складуть:

$$\begin{aligned} A'_X &= \sin^2(\pm\alpha_r)\sin 2\alpha_b; \\ A'_Y &= \sin(\pm 2\alpha_r)\cos\alpha_b; \\ A'_Z &= 1 - \sin^2(\pm\alpha_r)\cos^2\alpha_b, \end{aligned} \quad (8)$$

де: $\alpha_r = \pm 3,35^\circ$ - кут повороту навколо осі X; $\alpha_b = (45^\circ \pm 2,25^\circ)$ - кут повороту навколо осі Y.

Підставляючи ці значення кутів в систему рівнянь (8), знаходимо:

- при $\alpha_b = 47,25^\circ$: $A'_X = 0,0034$; $A'_Y = \pm 0,0792$; $A'_Z = 0,9969$;
- при $\alpha_b = 42,75^\circ$: $A'_X = 0,0034$; $A'_Y = \pm 0,0857$; $A'_Z = 0,9963$.

Ці дані мають бути враховані при коректуванні растру РК індикатора. Дискретне перемикання дзеркала сканування може здійснюватися електромагнітною системою, а сигнали кінцевих вимикачів використовуватися при компенсації нахилу зображення.

Проблемним питанням всіх ВГ на базі електронного індикатора є надійність генератора символів. При його відмові в оптичну схему вводиться резервний формувач зображення, зазвичай сітка з окремим підсвічуванням. У ІЛС «Зрачок-2» це реалізується кінематичною схемою - ЕПТ зміщується уздовж оптичної осі, і у звільнений простір вводиться сітка з освітлювачем. При цьому реалізується окомірний спосіб прицілювання [12].

У комбінованій ВГ резервний формувач також може кінематично вводитися

в оптичну схему при зсуві РК індикатора. Іншим варіантом може бути перемикаюче дзеркало між РК індикатором і об'єктивом.

Додатковою перевагою комбінованої ВГ, що підвищує ефективність модернізованого прицілу, є те, що в разі керування дзеркалом не електромагнітною системою, а двома електроприводами (як це робиться у ВГ АСП), можливо здійснювати автоматичне прицілювання навіть при відмові генератора символів.

Висновки

Проведений аналіз комплексування інформації в АСП дозволив запропонувати спосіб модернізації внаслідок комплексування інформаційних каналів на базі ІЛС типу «Зрачок-2» і комбінованої ВГ з РК індикатором. Були проведені попередні розрахунки, які підтверджують можливість практичної реалізації запропонованих рішень. Надалі передбачається допрацьовувати схему комплексування у напрямі оцінки її конструктивного втілення.

Література

1. Ключфас С.И. Об одном варианте украинской модернизации и обновления систем управления вооружением / С.И. Ключфас, А.А. Борисюк // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-техн. сб.- К.: НТЦ АСВ.- 2002.- Вып. 5. - С. 58 - 64.
2. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения. - М.: Машиностроение, 1989.- 760 с.
3. ОСТ 100345-87. Система отображения информации в кабинах экипажа. Общие эргономические требования. - М., 1987. - 17 с.
4. Справочник конструктора оптико-механических приборов. СССР. Под ред. Кругера М.Я. и Панова В.А. – Л.: Машиностроение, 1967.- 760 с.
5. Сенаторов В.Н. Повышение точности сканирования зеркалом в пространстве изображений // Оптико-механическая промышленность.- 1988. - № 5.– С. 60-61.
6. Черняк С.І. Авіаційний індикатор на лобовому склі ІЛС-39 / С.І. Черняк, М.Л. Денисов, К.Ю. Волчанецький та ін. // Вісник НТУУ "КПІ" серія Приладобудування. - 2008.- Вип. 35. - С. 16-19.
7. Турыгин И.А. Прикладная оптика. - М.: Машиностроение, 1966.- 431 с.
8. www.jvc-victor.co.jp. JVC Develops 1.75 inch 8K4K D-ILA Device.
9. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. - М.: Искусство, 1971. – 670 с.
10. Полежаев В.В. Авиационные стрелковые прицелы и пилотажно-прицельные индикаторы / В.В. Полежаев, В.Н. Сенаторов // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журнал. – К.: НТЦ АВ. – 2008.- № 1(26). - С.30-34.
11. Оптические юстировочные задачи / Г.В. Погарев, Н.Г. Киселев – Л.: Машиностроение, 1989. – 260 с.
12. Мубаракшин Р.В. Прицельные системы стрельбы / Р.В. Мубаракшин, В.М. Балуев, Б.В. Воронов - М.: Издание ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1973.- 332 с.

¹⁾Н. В. Сенаторов, ²⁾В. И. Микитенко

¹⁾КП СПС «Арсенал», г.Киев, Украина, ²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВИАЦИОННОГО СТРЕЛКОВОГО ПРИЦЕЛА ПУТЕМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Статья посвящена повышению эффективности отечественного авиационного парка за счет модернизации авиационного стрелкового прицела. Одним из главных направлений модернизации является комплексирование информационных каналов в прицеле. Существующие ва-

рианти комплексирования не дают ожидаемого повышения эффективности из-за больших погрешностей или значительных габаритов блоков прицела. Целью данной работы является анализ возможных вариантов комплексирования информации в прицеле для его модернизации, учитывая возможность их реализации. Была предложена схема комбинированной визирной головки с жидкокристаллическим индикатором для комплексирования информации в прицеле. Предыдущие расчеты подтверждают возможность практической реализации предложенного решения. В дальнейшем предусматривается дорабатывать схему комплексирования в направлении оценки ее конструктивного воплощения.

Ключевые слова: комплексирование изображений, авиационный прицел, визирная головка.

¹⁾N. V. Senatorov, ²⁾V. I. Mykytenko

¹⁾State enterprise SDB «Arsenal», Kyiv, Ukraine, ²⁾National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

AVIATION SIGHT MODERNIZATION BY MEANS OF INFORMATION CHANNELS FUSION

The article is devoted the increase of efficiency of domestic aviation park due to modernization of aviation sight. Information fusion is one of main sight modernization directions. The existent variants of information fusion in sight do not give the expected increasing of efficiency on account of large errors or considerable sizes of sight units. The purpose of this work is an analysis of possible variants of information fusion in a sight for it's modernization, taking into account possibility of their realization. The chart of the combined liquid-crystal viewfinder was offered for information fusion. Previous calculations confirm possibility of practical realization of the decision. In future it is foreseen to finish off the fusion chart to estimate its structural embodiment.

Keywords: image fusion, aviation sight, viewfinder.

*Надійшла до редакції
15 жовтня 2010 року*

УДК 681.317

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕРМОВПЛИВУ

Тихан М.О., Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

На сьогодні тензорезистивні датчики тиску все частіше використовуються у середовищах з швидкозмінною температурою. Тому проблема підвищення точності вимірювань у цих умовах є актуальною. Для вирішення цієї проблеми пропонується метод вимірювання. Який передбачає швидкодіюче автоматичне коригування температурної похибки. При цьому покладається, що вимірюваний тиск і температура мають нестационарний характер. Суть методу полягає у тому, що вимірюваний тиск одночасно діє на дві мембрани. Ці мембрани є абсолютно ідентичні за статичними та динамічними характеристиками і фізико-механічними характеристиками своїх матеріалів, за винятком коефіцієнту лінійного теплового розширення. Тому, при вимірюванні тиску середовища з нестационарною температурою мембрани зазнаватимуть різних прогинів. За різницею таких прогинів встановлюють значення вимірюваного тиску, яке “очищене” від температурної похибки. Завдяки простоті математичного опрацювання вихідних сигналів метод дозволяє швидкодіюче і точно коригування температурної похибки, а тому придатний для вимірювання суттєво нестационарних процесів у системах автоматичного керування.

Ключові слова: тензорезистивний датчик динамічного тиску, температурна похибка, корекція.