

משקפות מיוצבות

סגן אריה פ'

תצפית בעזרת משקפת או טלסקופ המוחזקים ביד, קשה ביותר עקב רעידות היד ואי-יציבותה. עובדה זו גורמת לטש-טוש התמונה ולאבדן פרטים בתוכה; באור-תם מקרים בהם זווית הראיה צרה, גורמת אי-יציבות לכך שהשטח הנצפה אינו נראה כלל. אי-יציבות זו מפחיתה גם את עירנות הצופה ומעייפת את עינו.

בעיית יציבה של המשקפת מחמירה עוד יותר בתצפית מכלי-טיס, מכלי-שיט או מרכב נע.

הפתרון — שטיבו תלוי בשיטה, ביצור ובמידת אי היציבות עליה יש להתגבר — נמצא בהתקן אשר תמונת העצם הנצפה בו מיוצבת על-ידי שתי מערכות ג'ירו: העצם הנצפה, "נע" בעקבות כל תזוזה של המשקפת בכיוון התזוזה. עולה מכאן ש-לגבי המשקפת אין העצם הנצפה זו והצופה ימשיך לראותו ללא הפרעה.

המשקפת שתואר במאמר זה היא חד-משקפת, מוחזקת ביד ומאפשרת ראייה ברו-רה וחדה על-אף הזעזועים בהם נתון הצופה מכלי-רכב או מכלי-טיס.

המשקפת בעלת זום* ומותקן עליה ראש אופטי המיוצב על-ידי ג'ירו. היא מחוברת באמצעות כבל לתיבת בקרה המכילה את האבזרים האלקטרוניים הדרושים להפעל-תה. המתח החשמלי מסופק למשקפת מ-מצבר או מסוללות (ראה תמונה).

קיימות משקפות אחרות שאינן כוללות תיבת בקרה אלקטרונית וכל מערכות הי-צוב והבקרה נמצאות במשקפת עצמה; המתח החשמלי מסופק על-ידי סוללות אשר אף הן נמצאות בתוך המשקפת.

מבנה המשקפת

זוהי חד-משקפת דו-עינית עם עצמית (עדשת העצם) זום בחלקה הקדמי. למש-קפת שתי עיניות (עדשות עין): הימנית

* שינוי הגדלה על-ידי שינוי מיקום העדשה.

פעילה ואילו השמאלית סתומה. תפקידה של העינית הסתומה הוא למנוע כניסה של אור מפורר לעינו השמאלית של הצופה ובכך למנוע מצמוץ והתעייפות העין.

אמצעי השליטה כוללים שני לחצני זום — להגדלה פי 1.5 ופי 12 — חלון המורה על הגדלת הזום וטבעת למיקוד העינית. לחצני הזום מפעילים את מנוע הזום.

הראש, המיוצב על-ידי הג'ירו מותקן ב-חלקה הקדמי של המשקפת ומתחבר אליה בהתאמה. ראש היצוב ותיבת הבקרה מהווים מערכת מבוקרת על-ידי משוב; מערכת זו מייצבת את הדמות על-ידי שינוי בפניה של מנסרה מלאת נוזל ו"מפצה" בכך על הזווית התמונה. בראש המייצב מותקנות 2 מערכות יצוב ג'ירו בזווית של 90° ביניהן, המבטיחות יצוב במישור האופקי והאנכי של התמונה.

תיבת הבקרה מכילה את המעגלים האלק-טרוניים המספקים מתחי הזנה לשליטה על הראש המיוצב, ולמשקפת הזום. כפי שצוין לעיל, במשקפות חדישות יותר אין תיבת בקרה וכל מקור ההספק נמצא בתוך המשקפת.



משקפת מיוצבת "XM-76".
למעלה — משקפת ומערכת יצוב.
משמאל — תיבת בקרה.



משקפת מיוצבת "XM-76".

העיקרון של פעולת היצוב

השינוי בשבירת האור, "מפצה" על התנועה וכך נשארת התמונה מיוצבת. שינוי זה חל כתוצאה משינוי כיוונה של פאת המנ-

סרה, המשנה את זווית שבירת האור בתוכה. שני הג'ירוסקופים בראש המיוצב מספקים, על-ידי סיבובם, יחס אינרציאלי לשם גילוי תנועת ההפרעה של הראש המייצב. שני הג'ירוסקופים וסליליהם פועלים ב-2 צירים מאונכים זה לזה. כאשר חלה תנועת הפרעה יוצרים הסלילים אותות אנאלוגיים (תקבי-ליים), המועברים לתיבת הבקרה; שם הם מתורגמים לאותות אל מנועי, "הפיצור" של המנסרה הנמצאת בראש המיוצב. כל מנוע שולט על ציר סיבוב אחד ומשנה את כיוונה של אחת משתי פאותיה של מנסרת הנוזל.

המערכת שתוארה לעיל פותחה ויוצרה עבור מסוקי, "קובר" של צבא ארה"ב ונועדה להגדיל את יעילות הירי שלהם.

במסוקים אלה קיים פער ניכר בין הביצור-עים של מערכת בקרת האש לבין יכולתו של התותחן להשתמש בה. רעידות התמונה מגבילות את יכולת הראיה והתותחן אינו יכול לזהות את המטרה ולאכנה מטווחים המתאימים להפעלת כלי-הנשק. במצב זה יש לצוות המסוק שתי אפשרויות:

א. להתקרב למטרה כדי לאכנה ולזהותה; פעולה זו חושפת את המסוק לאש נ"מ מהקרקע.

ב. לירות מטווח של 1,000 מטרים; יעיר-לותו של ירי מטווח זה נמוכה שכן ה-מטרה אינה נראית באופן ברור וגם תוצ-אות הירי אינן נראות.

כדי לסלק פער זה ולשפר את יעילותו של הירי מהמסוק חייב התותחן לראות את המטרה; עליו לאכנה ולזהותה לפחות מה-טווח המכסימלי של כלי-נשקו. ניתן להג-דיל את טווח הראיה על-ידי הגדלה אופ-טית. ואולם הגדלה אופטית כשלעצמה לא תפתור את הבעיה. יש לפתור שתי בעיות נוספות כדי שניתן יהיה לנצל הגדלה זו. ראשית, יש ליצב את התנודות הזוויתיות של המסוק ואת רעידותיו; שאם לא כן יטשטשו תנודות אלה את שדה-הראיה וה-הגדלה תהיה חסרת תועלת. שנית, הגדלה בלבד יוצרת שדה-ראיה מצומצם יותר וגור-רמת לקשיים באיכוון המטרה. לכן יש צורך גם בזום — כלומר, שדה-ראיה משתנה, כדי לאפשר לאכן את המטרה ולזהותה.

המשקפת המיוצבת עונה על שתי בעיות אלה. למשל, הגדלת הזום פי 1.5 גותנת שדה-ראיה של 40° לשם איכוון המטרה; הגדלה פי 12 גותנת שדה-ראיה של 5° לזיהוי (משקפת מיוצבת למסוק ה"קוב-רה" מתוארת בתמונה).

איכון מטרות וזיהוי מרכב משוריין קשים ביותר, בעיקר בגלל הראות המוגבלת מתוך הרכב וכן מחמת תנודותיו החזקות. בעוד שמערכות אופטיות, המגדילות בעוצמה רבה, ניתנות להפעלה ללא קושי במצב ניח, תהיה ההגדלה מוגבלת בעוצמתה במערכות המופעלות בתנועה; הגבלה זו נובעת בחלקה מהטשטוש בתמונה, הנוצר בגלל רעידות הרכב (אשר מביא להקטנת כושר ההפרדה במידה ניכרת).

האמריקנים פנו לפיתוח מערכת ייצוב אופטי לרכבי-קרב. לדעתם רצוי ליצב את צריחון המפקד בטנק כדי לאפשר תצפית טובה וביקורת יעילה של פעולת הטנק. הואיל וייצוב הצריחון בדיוקים הנדרשים הוא מבצע שמחייב מערכת יקרה של מחושים, מערכת הספק רבת עוצמה ואבזרים אחרים, נראה שהאפשרות ליצב את התמונה בצורה המתוארת לעיל, משמשת תחליף זול לייצוב הצריחון.

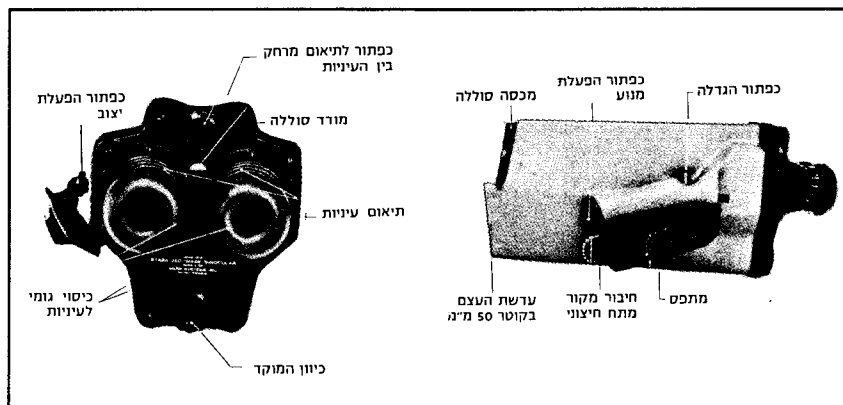
המערכת בנויה כך שהיא מספקת איזון ייצוב, סריקה וכיוון מהיר לנקודה רצויה. בניסויי-שדה, שערך הצבא האמריקני ב-

משקפת מיוצבת של חברת „דינאסינס“ נוסו שני סוגים של גירוסקופים: האחד — פשוט יחסית והאחר — משוכלל ויקר יותר. המערכת הופעלה במהלך הניסויים בשלושה מצבים:

א. הרכב ניח ואין צורך באיזון התמונה.

ב. תנודה חזקה של הרכב היוצרת זווית גדולה בקו הראיה, מפעילה מתמר הגבהה הנותן אותות להפעלת מנועי „סרו“, שמאזנים את קו הראיה למצבו המקורי.

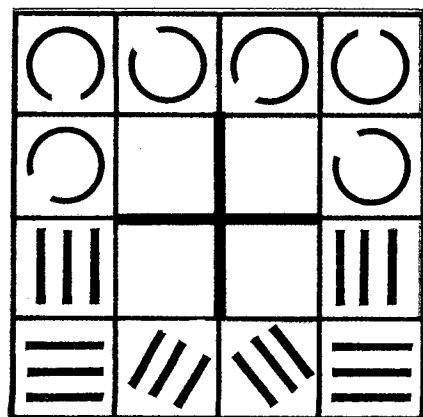
ג. תנודה רגילה של הרכב — התמונה



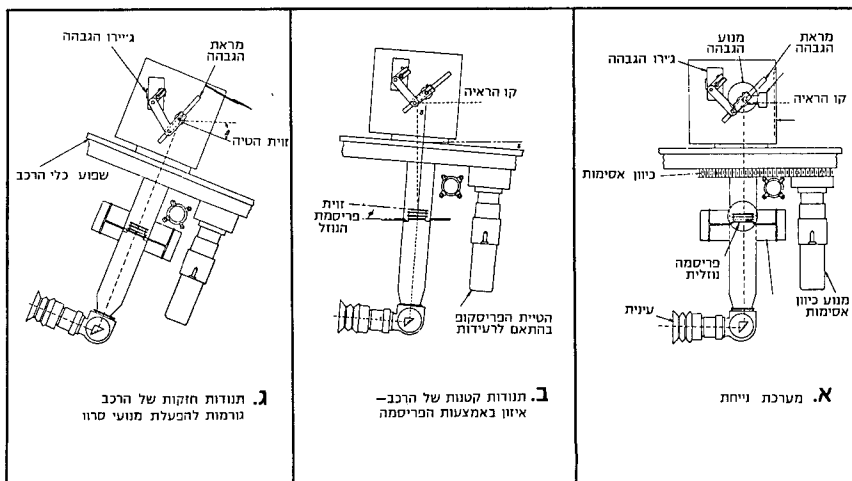
משקפת מיוצבת "1610 Mark System". אפשרות לחיבור מקור מתח חיצוני או סוללות.



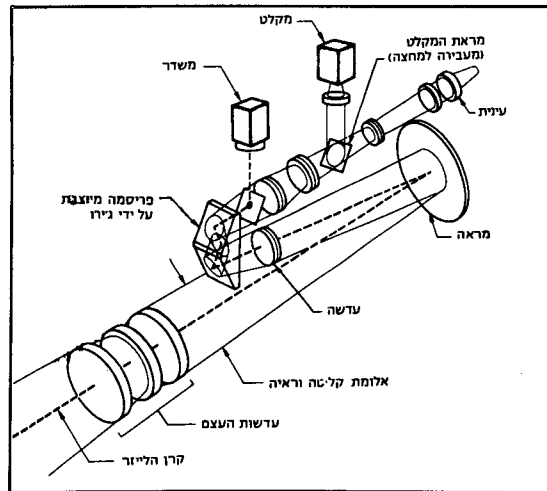
צילום במשך שניה אחת. מצלמה בעלת עדשה בקוטר 400 מ"מ מוחזקת ביד. המכונית נמצאת במרחק 120 מטרים. מימין — ייצוב התמונה.



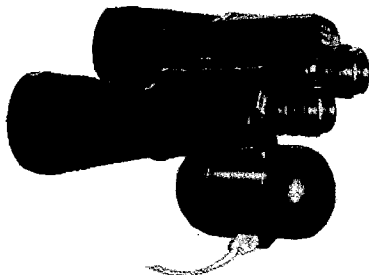
מטרה שהוצגה לניסוי מערכת ייצוב ב"נגמ"ש.



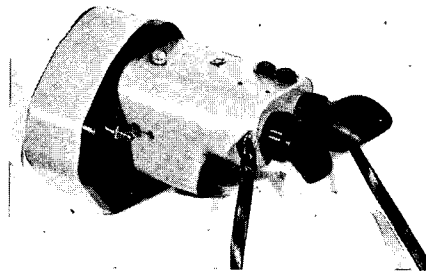
מערכת הייצוב בנגמ"ש "M-113".



תיאור
סכמתי
של
משדר-מקלט
לייזר
מיוצב.



משקפת-שדה מותקנת על מייצב
"MX-8001/M". המייצב מחובר למקור
המתח בבטל.



משדר-מקלט לייזר מיוצב.
מכשיר-הקשר לייזר נמצא בחלק העליון
של המכשיר.

הארת המטרה נעשית מכלי-טיס רועד ויש צורך ליצב את ה"מאיר" לייזר, כדי שימ- שיד להיות מכוון על המטרה אליה מתביית הטיל.

שיטה נוספת ליצוב מכשירים אופטיים, מבוססת אף היא על הפרדה בין מערכת היצוב והמכשיר האופטי. ואולם בעוד אשר בשיטות הקודמות יוצבה עדשת העצם בלבד בעזרת ג'ירוסקופ, מיוצבת כאן כל ה- משקפת. לפי שיטה זו קיים מכשיר ליצוב, שעליו ניתן להתקין משקפות-שדה שונות או טלסקופ (ראה תמונה). מערכת זו מאפ- שרת ליצוב משקפת דו-עינית על-ידי שני ג'ירוסקופים. היתרון שבשיטה זו ליצוב משקפת טמון בהשגת שדה-ראיה והגדלה רצויים, על-ידי התקנת משקפת מתאימה על המייצב.

לסיכום, ניתן לומר שייצוב מכשירים אופ- טיים משכלל את התקני התצפית, הן לטו- חים קצרים והן לטווחים ארוכים בהם נדר- שת הגדלה גדולה. היצוב חיוני למערכות ביות, למערכות קשר, למערכות צילום וב- עיקר למערכות בקרת-אש. הוא מאפשר לצפות זמן ממושך על המטרה המבוקשת ועל-ידי-כך לאכנה, לזהותה, לצלמה ולפ- גוע בה, במידת הצורך.

מערכות מהסוג הנ"ל הותקנו במטוסי "F-4" לתצפית ועבור מערכת הנשק "M-60" של המסוק "UH-1".

יצוב קשר לייזר

שימוש נוסף למערכות יצוב הוא מכשיר- קשר לייזר דינמי, המשמש לקישור בין שתי נקודות. בגלל האלומה הצרה ביותר של השידור, נדרש כיוון מדויק למקלט כדי שיקלוט את השידור, ומחמת רעידות היד בעת החזקת המכשיר יש ליצב את קרן הלייזר. הלייזר המיוצב מאפשר מסירה מדויקת של מידע באלומה צרה ביותר. מערכת היצוב מייצבת הן את המידע המ- גיע למקלט והן את המידע המשודר על-ידי המשדר. תיאור סכמתי של מכשיר-קשר לייזר מיוצב מובא בתמונות להלן.

שימושים נוספים במערכות מיוצבות נע- שים במצלמות מיוצבות, במצלמות טלוויז- יו ובמערכות לייזר. מצלמות טלוויזיה מיוצבות חיוניות בטילים מבוייתי טלוויז- יו; הטלוויזיה חייבת להיות מיוצבת על המטרה אליה מתביית הטיל הן כאשר מצ- למת הטלוויזיה נמצאת במטוס המשגר והן כאשר צילום המטרה נעשה מראש הטיל. הוא הדין במערכות ביות לייזר, כאשר

מיוצבת בעזרת בקרת ג'ירוסקופ על מנ- שרת הגזול.

למרות שהמערכת תוכננה במקורה לשי- מושו של מפקד הטנק "M-60A1" היא הותקנה בנגמ"ש "M-113". לוח המטרה הוצב על צדו של נגמ"ש "M-113" אחר. הלוח כלל תמונות טבעות לא סגורות (ראה תמונה) במספר זוויות וכן קוים מוטם במספר כיוונים על רקע שונה. נערכו ניסויים כשהנגמ"ש הצופה ניח ונגמ"ש המטרה נע וכן להיפך — במהי- רויות שונות, בקי תנועה שונים ובטווחים שונים.

בטווחים עד 800 מטרים הסתכמו השגיאות בעקיבה כך:

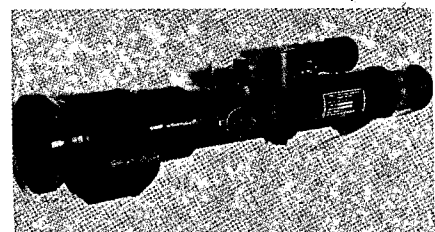
בג'ירוסקופ פשוט: 0.23 אלפיות — 0.55 אלפיות, שגיאה אופקית ו-0.25 אלפיות — 0.55 אלפיות, שגיאה אנכית.
בג'ירוסקופ משוכלל: 0.03 אלפיות — 0.52 אלפיות, שגיאה אופקית ו-0.01 אלפיות — 0.48 אלפיות, שגיאה אנכית.

התוצאות הנ"ל התקבלו לאחר שהצופה התאמן כ-32 שעות בעקיבה אחר מטרת. המערכת ותוארה לעיל מהווה רק אחד השימושים האפשריים במשקפות מיוצבות.

יצוב ראיית לילה

מלבד האפשרות של תצפית יום בעזרת המשקפת המיוצבת, ניתן להשתמש במגבר אור-כוכבים ("AN/PVS-2 SLS" בהג- דלה אופטית פי ארבעה) או ב-"NOD" ("AN/TVS-4" בהגדלה אופטית פי שב- עה) כדי לצפות מכלי-רכב, ממטוסים, מ- מסוקים ומספינות בלילה.

החשיבות הרבה ביצוב התקנים לראיית לילה נובעת מהריכוז הרב הדרוש לאכן מטרה בלילה ולעקוב אחריה; פעולות אלה קשות בלילה, אפילו במצב ניח. יצוב המערכת מאפשר לצופה לצפות על המ- טרה זמן רב יותר, לאכנה ולזהותה. חברת "דינאסינס" בנתה מתאם למגבר אור-כוכבים שיאפשר להתקין עליו מערכת יצוב; התוצאה תהא התקן מיוצב לראיית לילה שאפשר להתקינו על כלי-רכב.



מגבר אור-כוכבים מיוצב.