

УДК 355.1

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.24-28>

Р.А. Нанівський, О.В. Ємельянов

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів*

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ РОБОЧОГО ОРГАНА ТРАЛА ПІД ЧАС РУХУ ПО МІННОМУ ПОЛЮ З НЕРІВНОСТЯМИ

Для знешкодження мін запропоновано модифіковану конструкцію робочого органа трала. Вона відносно проста у комплектації, підвищує не тільки його живучість, але й за необхідності дозволяє проводити заміну найбільш вразливого його елемента – робочого диска. Конструкція робочого органа трала у вигляді U-подібного коромисла із двома робочими дисками дає можливість ефективно експлуатувати трал навіть у випадках, коли один із робочих дисків вийшов із ладу.

Описано кінематику основних частин робочого органа, для випадку руху тралю вразом вздовж мінного поля із нерівностями зі сталою швидкістю. Отримано аналітичні залежності, які визначають основні параметри руху як самого U-подібного коромисла, так і робочого диска.

**Ключові слова:** мінний трал, робочий диск, кінематичні параметри руху елементів трала.

### Постановка проблеми

Для часткового покращення експлуатаційних характеристик трала пропонується робочий орган трала виготовляти у вигляді U-подібної форми коромисла 1 із ніжками, розміщеними у вертикальній площині. Коромисло може вільно повертатись навколо горизонтальної осі 2 трала (рис. 1). На горизонтальній осі 3, яка розміщена у нижніх частинах U-подібного коромисла, насаджені диски 4, які можуть вільно обертатися навколо вказаних осей. У транспортному положенні система займає симетричне положення відносно вертикальної площини, яка проходить через вісь 2. Що стосується робочого положення вказаної частини трала, то під дією сили ваги елементів трала (корпусу та інших частин, які не вказані на рис. 1), робочі диски 4 заглиблюються у ґрунт. Величина проникання їх нижніх частин у ґрунт залежить від його щільності та ваги секції трала.

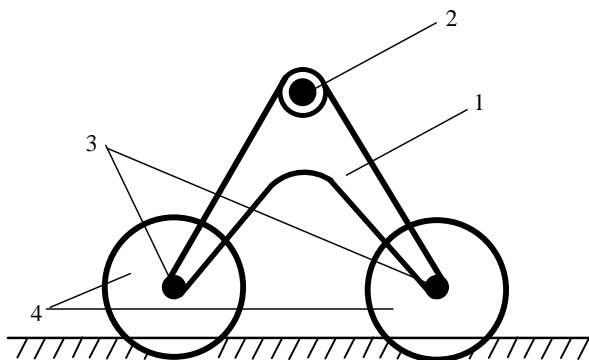


Рис. 1. Загальний вигляд робочого органа трала:

- 1 – U-подібне коромисло;
- 2 та 3 – горизонтальні осі трала;
- 4 – робочі диски

Для регулювання мінімальної величини проникнення дисків у ґрунт з метою спрацювання підрильника міни по боках трала розміщені регульовальні опорні катки. Саме робочі диски під час руху трала створюють необхідний тиск на верхню частину міни, спричиняючи її підрип, тобто її знешкодження.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність обраної теми обумовлена тим, що аналіз публікацій [1–8] говорить про те, що в світі, а особливо в Росії, активно ведуться роботи щодо розробки та впровадження в свої збройні сили нових зразків засобів подолання мінно-вибухових загороджень. Це пов'язано з тим, що застарілі зразки мінних тралів мають ряд недоліків, основними з яких є низька вибухостійкість та їх масивність. На озброєнні Збройних Сил України стоять морально застарілі зразки мінних тралів, які з 1983 року не вдосконалювались. За технічними характеристиками мінний трал КМТ-7 витримує 2 вибухи протитанкової міни ТМ-62. Новітні, прийняті на озброєння Росією, мінні трали ТМТ-К та ТМТ-С за своїми заявленими характеристиками здатні витримувати 6 вибухів протитанкової міни серії ТМ-62.

Отже, гостро постає питання модернізації існуючого зразка трала КМТ-7 або розробка принципово нового мінного трала. Оскільки розробка та виготовлення нового виробу – процес довгий та фінансово затратний, набагато дешевше та швидше модернізувати існуючий зразок. У статті йдеться про рух модернізованого робочого органа трала при наїзді на нерівність мінного поля.

## Формулювання мети статті

Мета статті полягає у визначенні кінематичних характеристик руху робочого органа трала за умов:

- руху тральника зі сталою горизонтальною швидкістю  $V$ ;
- наїзді переднього робочого диска трала на нерівності міного поля (рис. 2).

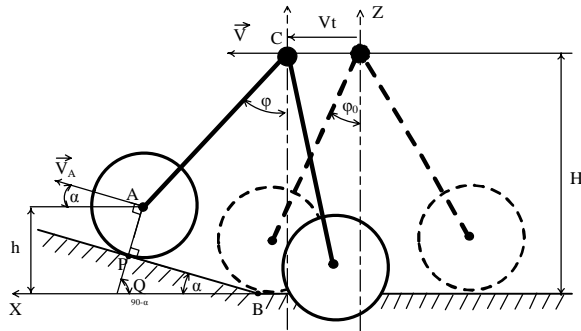


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення кінематичних характеристик під час наїзду робочого органа на нерівність мінного поля

Вказані результати стануть підґрунтям для розв'язання більш складних задач: визначення динамічних умов взаємодії переднього робочого диска трала (U-подібного коромисла) необхідних для спрацювання підривника міни.

## Виклад основного матеріалу

Базою для розв'язання поставленої задачі служитимуть основні положення теорії плоскопаралельного руху U-подібної форми коромисла та додаткове припущення, що стосується руху робочих дисків. Воно полягає в наступному: у процесі руху трала сили взаємодії між ґрунтом та робочими дисками не дозволяють робочим дискам ковзати вздовж ґрунту. Частковому виконанню вказаної умови сприяє також форма робочого диска. Наведене дозволяє стверджувати, що робочі диски також перебувають у плоскопаралельному русі.

Основні припущення, що стосуються руху елементів трала:

а) площиною руху U-подібної форми коромисла є нерухома площина, яка збігається з площиною ZOХ. Початок вказаної системи відліку розміщений (рис. 2) так, що точка початкового дотику робочого колеса та початку абсолютно твердої нерівності (точка В) відповідає початку повороту U-подібного коромисла навколо осі 2. Вісь ОХ горизонтально напрямлена в сторону руху трала, вісь ОZ – вісь симетрії робочого органа трала у момент початку виходу на нерівність (проходить через вісь 2);

б) робочі диски однакових радіусів –  $R$ ;

в) віддалі від осей обертання робочих коліс до осі обертання коромисла однакові і рівні  $L$ ;

г) горизонтальна вісь 2 U-подібної форми коромисла трала рухається вздовж прямої, яка паралельна осі ОХ зі сталою швидкістю  $V$ ;

д) кут між прямими, які проходять через центр осі 2 та осі робочих коліс, дорівнює  $2\varphi_0$ ;

е) кут нахилу прямої, яка збігається із нерівністю до осі ОХ, дорівнює  $\alpha$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = k$ .

Це дозволяє описати координати точки А співвідношеннями

$$\begin{aligned} x_A &= Vt + L \sin \varphi, \\ z_A &= H - L \cos \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $H$  – віддаль від горизонтальної площини руху трала до прямої, вздовж котрої рухається центр осі коромисла,  $\varphi$  – кут нахилу прямої, яка проходить через центр осі коромисла та центр осі обертання переднього робочого колеса. Саме визначенню співвідношення для визначення кута  $\varphi$  та основних кінематичних характеристик U-подібного коромисла та робочого диска є основною метою роботи. Маючи співвідношення для вказаного кута, можна описати кінематику заднього робочого колеса, а відтак, зміну величини його динамічної взаємодії з ґрунтом, динамічну взаємодію опорних катків і ґрунту.

Координати точки дотику переднього робочого колеса до нерівності (точки Р) дорівнюють

$$\begin{aligned} x_P &= \frac{k(H - L \cos \varphi + k(R + L) \sin \varphi_0) + Vt + L \sin \varphi}{1 + k^2}, \\ z_P &= k \left( \frac{k(H - L \cos \varphi + k(R + L) \sin \varphi_0) + Vt + L \sin \varphi}{1 + k^2} - (R + L) \sin \varphi \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Базою для знаходження кута повороту U-подібного коромисла навколо осі 2 може служити умова: віддаль центра вказаної осі коромисла до горизонтальної площини є сталою, тобто

$$H = L \cos \varphi + h.$$

Із неї маємо

$$H = [(Vt + kH + L \sin \varphi - kL \cos \varphi - H \operatorname{tg} \varphi_0) \sin \alpha + R] \cos \alpha + L \cos \varphi \quad (3)$$

Остання залежність зв'яже геометричні та кінематичні параметри робочого органа трала у вигляді

$$\begin{aligned} \cos \varphi \left( 1 - \frac{1}{2} k \sin 2\alpha \right) + \frac{1}{2} \sin \varphi \sin 2\alpha &= \\ = \frac{1}{L} \left[ H(1 + \sin \alpha \operatorname{tg} \varphi_0) - \frac{1}{2} (Vt + kH \sin 2\alpha) - R \cos \alpha \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо вважати, що  $\varphi = \varphi_0 - \psi(t)$ , то для визначення кута повороту  $\psi(t)$ , зумовленого наїздом переднього робочого колеса на нерівність, із залежності (4) отримуємо

$$\begin{aligned} (\cos \psi(t) \cos \varphi_0 + \sin \psi(t) \sin \varphi_0) (1 - \sin^2 \alpha) + \\ + \frac{1}{2} (\cos \psi(t) \sin \varphi_0 - \sin \psi(t) \cos \varphi_0) \sin 2\alpha &= \\ = \frac{1}{L} \left[ H \left( 1 + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \operatorname{tg} \varphi_0 \right) - \frac{1}{2} (Vt + kH \sin 2\alpha) - R \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Для випадку нерівностей незначного кута підйому  $\alpha$  маємо

$$\psi(t) = \frac{\left[ H(1 + k \operatorname{tg} \varphi_0) + \frac{1}{2}(Vt + 2kH) - R \right] - L \left[ (1 - k^2) \cos \varphi_0 - k \sin \varphi_0 \right]}{L(k \cos \varphi_0 - (1 - k^2) \sin \varphi_0)}. \quad (6)$$

Співвідношення (6) і визначає кутову швидкість повороту U-подібного коромисла у вигляді

$$\dot{\psi}(t) = \omega = \frac{V}{2L \left[ (1 - k^2) \sin \varphi_0 - k \cos \varphi_0 \right]}. \quad (7)$$

Залежність (7) показує, що при  $\frac{1 - k^2}{k} > \operatorname{ctg} \varphi_0$

U-подібне коромисло за рахунок наїзду на нерівність буде повертатись у напрямку проти годинникової стрілки, а у протилежному випадку – за годинниковою стрілкою.

Представлені графічні залежності показують, що при зростанні крутизни підйому нерівності та швидкості руху тральника кутова швидкість відносного обертання U-подібного робочого коромисла зростає, причому швидкість її зростання є більшою для більших переносних швидкостей трала.

Отримані результати служать одночасно базою для визначення кінематичних характеристик переднього робочого колеса трала. Дійсно, вектор швидкості точки А, яка збігається з центром осі переднього робочого колеса, визначається відповідно до залежності  $\vec{V}_A = \vec{V}_C + \vec{V}_{AC}$ , де  $\vec{V}_C$  – вектор швидкості точки С,  $\vec{V}_{AC}$  – вектор швидкості точка А при обертанні передньої ланки коромисла під час обертання її навколо осі, яка проходить через точка С. Вказаний вектор, відповідно до його визначення, рівний за величиною  $V_{AC} = \omega L$  і направлений перпендикулярно АС. З іншого боку, точка А належить осі обертання переднього робочого диска, який відповідно до прийнятих припущень рухається без ковзання, а тому перебуває також у плоскому русі. Точка його дотику до нерівності (точка Р) є миттєвим центром швидкостей, а тому швидкість точки А як точки дотику за величиною дорівнює  $V_A = \Omega R$ , де  $\Omega$  – величина кутової швидкості робочого диска. Що стосується напрямку вказаного вектора, то він є перпендикулярним до відрізка РА. Зв'язок між швидкостями двох точок тіла у плоскому русі дозволяє на базі вказаного вище отримати співвідношення для кутової швидкості переднього диска  $V \sin \varphi = \Omega R \cos(\varphi + \alpha)$ . Таким чином, кутова швидкість переднього диска визначається співвідношенням

$$\Omega = \frac{V \sin \varphi}{R \cos(\varphi + \alpha)} = \frac{V \sin(\varphi_0 + \psi(t))}{R \cos(\varphi_0 + \psi(t) + \alpha)}. \quad (8)$$

Нижче на рис. 3 представлено залежність кутової швидкості U-подібного коромисла та робочого колеса трала від швидкості руху тральника та параметра  $k$ , а на рис. 4 – зміну в часі кутової швидкості робочого диска при наступних значеннях параметрів  $t=0.02..0.2$ ,  $k=0..0.1$ ;  $L=0.8$  м;  $R=0.3$  м;  $LL=\pi/4$ ;  $V=8$  м/с,  $L=0.8$  м;  $\varphi=\pi/6$  (рис. 4 а);  $H=0.85$  м;  $R=0.3$  м;  $LL=\pi/4$   $\varphi=\pi/6$  (рис. 4 б).

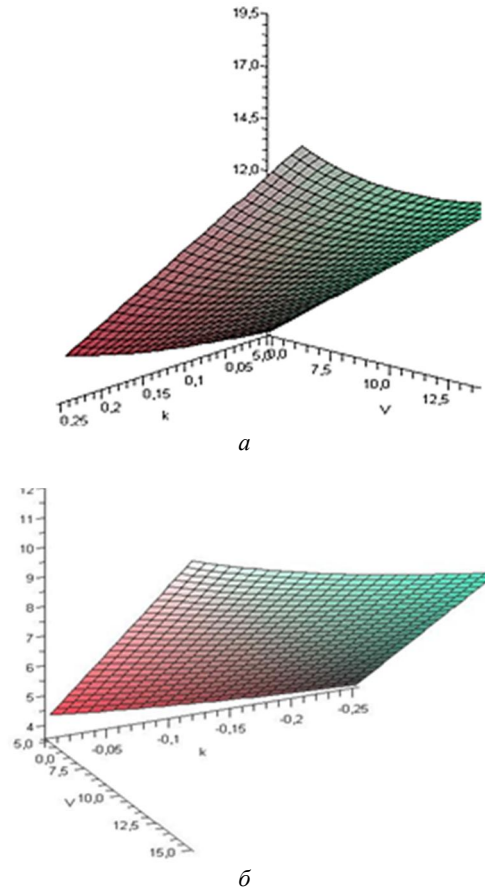
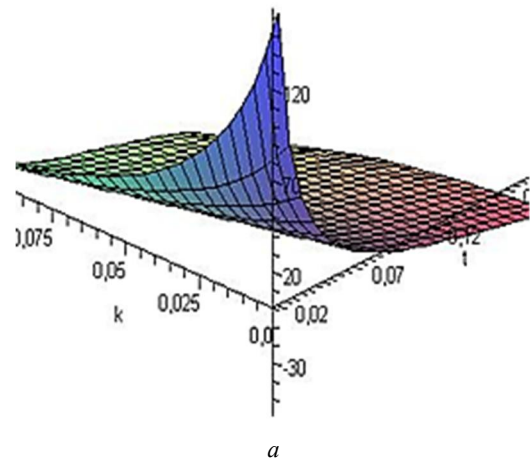


Рис. 3. Залежність кутової швидкості U-подібного коромисла від швидкості руху тральника та параметра  $k$  при русі робочого органа:

а – доверху; б – донизу



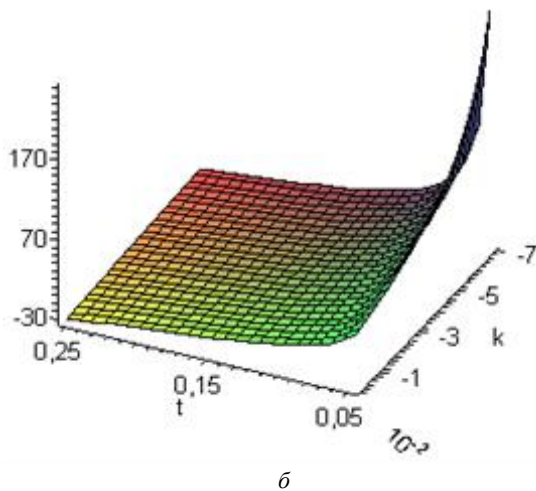


Рис. 4. Зміна в часі кутової швидкості робочого колеса трала за різних величин підйому нерівностей мінного поля при русі робочого органа:

а – донизу; б – доверху

### Висновки

Запропоновано модифіковану конструкцію робочого органа трала. Вона простіша за існуючі, а відтак, дозволяє тральнику характеризуватись значною маневреністю. Відносна простота комплектації робочого органа трала підвищує не тільки його живучість, але й за необхідності проводити заміну найбільш вразливого його елемента – робочого диска. До того ж, конструкція робочого органа трала у вигляді U-подібного коромисла із двома робочими дисками дає можливість ефективно експлуатувати трал навіть у випадках, коли один із робочих дисків вийшов із ладу.

Описано кінематику основних частин робочого органа, для випадку руху тральника вздовж мінного поля із нерівностями зі сталою швидкістю. Отримано аналітичні залежності, які визначають основні параметри руху як самого U-подібного коромисла, так і робочого диска. Шляхом їх аналізу встановлено: у залежності від величини кутів підйому нерівностей мінного поля під час наїзду на них робочого диска саме U-подібне коромисло може повертатись навколо своєї осі в обох напрямках (за і проти годинникової стрілки), а отже, сила тиску на поверхню ґрунту зі сторони другого диска трала може як зростати, так і спадати. Що стосується робочого диска, то показано, що величина кутової швидкості його обертання для підйомів нерівностей більшої величини є меншою.

Отримані результати є базовими для дослідження динаміки трала (робочого органа) під час знешкодження міни, їх достовірність підтверджується отриманням результатів, які стосуються кінематики деяких плоских механізмів.

### Список літератури

1. Минные тралы из России – лучшие в мире. Военно-промышленный курьер, 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vpk-news.ru/news/43713>.
2. Минные тралы ТМТ-К и ТМТ-С. Вдогонку. ВО-форум. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://forum.topwar.ru/topic/8938>.
3. В войска поступили новые минные тралы ТМТ-К. Военное обозрение. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://topwar.ru/106798-v-voyska-postupili-novye-minnye-traly-tmt-k.html>.
4. Современные средства преодоления минных полей ООО «СТАНКОМАШ». Бизнес России. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://glavportal.com/materials/sovremennye-sredstva-preodoleniya-minnyh-polej-ooo-stankomash>.
5. Боевые машины разминирования: езда напролом. Популярная механика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.popmech.ru/weapon/10637-k-protivniku-naprolom-boevye-mashiny-razminirovaniya/#part0>.
6. Виноградов А.В. История создания и развития отечественных минных тралов [Електронний ресурс] / А.В. Виноградов, А.С. Макаренко // Техника и вооружение. – 2012. – Вып. 04. – Режим доступа: <https://military.wikireading.ru/55112>.
7. Горбулін В.П. Основні вимоги щодо формування воєнно-технічної політики в контексті оснащення Збройних Сил України та інших військових формувань сучасним озброєнням, військовою та спеціальною технікою. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України на період до 2025 року: зб. матеріалів міжвідомчої НПК. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2010. С. 10–19.
8. Інформаційний бюлетень щодо аналізу роботи органів управління та військових частин (підрозділів) технічного забезпечення під час виконання завдань з технічного забезпечення військ (сил). – К.: Генеральний штаб Збройних сил України, 2014. – 58 с.
9. Машины инженерного вооружения. Часть 3. Машины для ведения инженерной разведки, преодоления и устройства минно-взрывных заграждений, обеспечения войск водой / Под ред. Г.В. Кретинина. – Москва: Военное издательство, 1987. – 424 с.
10. Павловський М.А. Теоретична механіка / М.А. Павловський. Техніка, 2002. – 512 с.

**Исследование кинематики рабочего органа трала во время движения по минному полю с неровностями**

Р.А. Нанивский, А.В. Емельянов

В статье предложена модифицированная конструкция рабочего органа трала. Она относительно проста в комплектации, повышает не только его живучесть, но и при необходимости позволяет проводить замену наиболее уязвимого его элемента – рабочего диска. Конструкция рабочего органа трала в виде U-образного коромысла с двумя рабочими дисками дает возможность эффективно эксплуатировать трал даже в случаях, когда один из рабочих дисков вышел из строя.

Описана кинематика основных частей рабочего органа для случая движения тральщика вдоль минного поля с неровностями с постоянной скоростью. Получены аналитические зависимости, определяющие основные параметры движения как самого U-образного рычага, так и рабочего диска.

**Ключевые слова:** минный трал, рабочий диск, кинематические параметры движения элементов трала.

**Research of kinematics of the working body of the trawl while driving on a minefield with irregularities**

R. Nanivskiy, A. Yemelianov

During combat operations, troops increasingly use mine barriers (minefields) to get protection against sudden offensive or penetration of enemy sabotage groups. The safest and at the same time the fastest way of their clearance or breaching for military equipment and personnel is demining of areas or individual sections by means of mine trawls. The experience of their application shows a number of existing problems, which reduce the efficiency of their use during breaching a minefield. First and foremost, it's the low maneuverability of the minesweeper because of the large dimensions of the trawl and the lack of "survivability" of the individual trawl elements. This paper is devoted to the partial solution of this problem, namely increasing the maneuverability of mine trawl by modernizing trawl working point. The article proposes a modified design of the trawl working body, which is much simpler than the existing, that in turn allows the minesweeper to demonstrate higher maneuverability. The proposed design of the trawl working body in the form of a U-shaped rocker with two working disks makes it possible to efficiently operate the trawl, even in cases where one of the working disks has been out of order.

The paper describes the kinematics of the main parts of the working body for the case of the minesweeper's movement through the minefield, taking into account the unevenness of the varied terrain with a constant speed. The analytical dependences are obtained, which determine the basic movement parameters as of the U-shaped rocker of the working disk. By their analysis it is established: depending on the magnitude of the unevenness' lifting angles of the mine trawl during running of the working disk over it, the U-shaped rocker can rotate around its axis in both directions (clockwise and anticlockwise), which means that the pressure force on the surface of the soil from the side of the second trawl disk can either grow or fall. As far as the working disk is concerned, it is shown that the values of the angular velocity of its rotation for the greater magnitude of unevenness' lifting are smaller.

The obtained results are basic for studying the dynamics of the trawl (working body) during mine clearance, their reliability is confirmed by obtaining in the extreme case the results related to the kinematics of some flat mechanisms.

**Keywords:** mine trawls, working disk, kinematic parameters of movement of trawl elements.

UDC 623.4:629.36

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.28-37>Ya. Khaustov<sup>1</sup>, D. Khaustov<sup>1</sup>, E. Lychkovskiy<sup>2</sup>, Ye. Ryzhov<sup>1</sup>, Yu. Nastishyn<sup>1</sup><sup>1</sup>Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy<sup>2</sup>Lviv Danylo Halytsky National Medical University**IMAGE FUSION FOR A TARGET SIGHTSEEING SYSTEM  
OF ARMORED VEHICLES**

Image fusion methods available in the literature, are designed for the office work, and are unsuitable for the use by a crew of an armored vehicle (AV). In addition, we show that the image fusion for target sightseeing system (TSS) of AVs has its own peculiarities in comparison with traditional approaches for civilian needs. We argue that for the needs of the TSS the concept of local contrast is more appropriate in comparison with the concept of integral contrast, on which the image quality indices designed for civilian needs, are based. We show that the most suitable for the needs of TSS is the fusion of multi-mode mono-temporal mono-view images synthesized from partial images