

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО  
Механіко-технологічний факультет**



**Використання  
техніки в АПК**

**Кафедра “Машиновикористання  
в землеробстві”**

***ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЧІПНОГО  
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ***

**Методичні вказівки до  
лабораторної роботи №3**

**з дисципліни «Використання техніки в АПК МВР»**

**для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»  
зі спеціальності 208 «Агроінженерія»  
(на основі бакалавра)**

Мелітополь, 2019

**УДК 631.5**

**Використання техніки в АПК МВР.** Визначення кінематичних характеристик причіпного машинно-тракторного агрегату. Методичні вказівки до лабораторної роботи №3 для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» (на основі бакалавра). – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 12 с.

**Розробник:** к.т.н, доцент *Кувачов Володимир Петрович*

**Рецензент:** к.т.н. *Мітков Василь Борисович*

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри МВЗ, протокол № 4 від 11.11.2019 р.

Затверджено методичною комісією механіко-технологічного факультету, протокол № 3 від 28.11.2019 р.

# **ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЧІПНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ**

## **МЕТА РОБОТИ**

Отримання практичних навичок студентами з організації руху машинно-тракторного агрегату (МТА) на поворотній смузі.

## **1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

### **1.1 Завдання для самостійної підготовки**

*Вивчити:*

- особливості агрегування мобільних енергетичних засобів із причіпними та напівнавісними агрегатами [2, с. 304-310];
- вплив зчіпок на кінематичні параметри МТА [1, с.102-108].

*Ознайомитися:*

- з кінематичними характеристиками трактора, агрегату і робочої ділянки поля;
- умовою «правильності» повороту причіпного агрегату (теоретичний матеріал методичних вказівок)

*Скласти звіт по роботі:* (розділ 4 методичних вказівок).

Робота повинна бути оформлена окремим звітом на аркушах формату А4 згідно з вимогами ДСТ 2.105-95 ЄСКД.

### **1.2 Питання для самопідготовки**

- 1) Кінематичні параметри широкозахватного МТА.
- 2) Кінематика повороту широкозахватного МТА в складі причіпної зчіпки навколо умовного центру повороту.
- 3) Кінематика повороту широкозахватного МТА в складі навісної зчіпки навколо умовного центру повороту.
- 4) Умова здійснення правильного (без бокового ковзання коліс) повороту МТА в складі причіпної зчіпки.

### **1.3 Рекомендована література**

1. Експлуатація машин та обладнання / [Бендера І.М. та ін.]; за ред. І.М. Бендери. – Кам'янець-Подільський: ФОП «Сисин Я.І.», 2013. - 576 с.

2. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві / Надикто В. Т. [та ін.]. - Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2005. - 337 с.

## 2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1 Програма роботи

2.1.1 Виконуючи роботу, студенту необхідно навчитися:

– обґрунтуванню мінімального радіусу та виду повороту агрегату, ширини поворотної смуги поля.

2.1.2 Здійснити:

– визначення кінематичних параметрів причіпного МТА.

Скласти звіт та захистити роботу.

### 2.2 Оснащення робочого місця

1. Робочий зошит.
2. Методичні вказівки до виконання роботи.
3. Колісний міні-трактор.
4. Сільськогосподарська причіпна машина (міні або макет).
5. Мірна рулетка.
6. Обчислювальний пристрій.
7. Інструкція з охорони праці (відповідно з ДНАОП 0.00-4.25-98).

## 3 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 3.1 Перша частина. Основні поняття та визначення

**Кінематика** будь-якого МТА – це його рух (з точки зору геометричних форм) при виконанні сільськогосподарських робіт. Основні елементи цього руху визначаються робочими і холостими ходами, обмовленими поворотами, заїздами, переїздами агрегату. З теорії експлуатації машин [1] відомі основні поняття та визначення щодо кінематичних параметрів причіпних МТА (рис. 1).

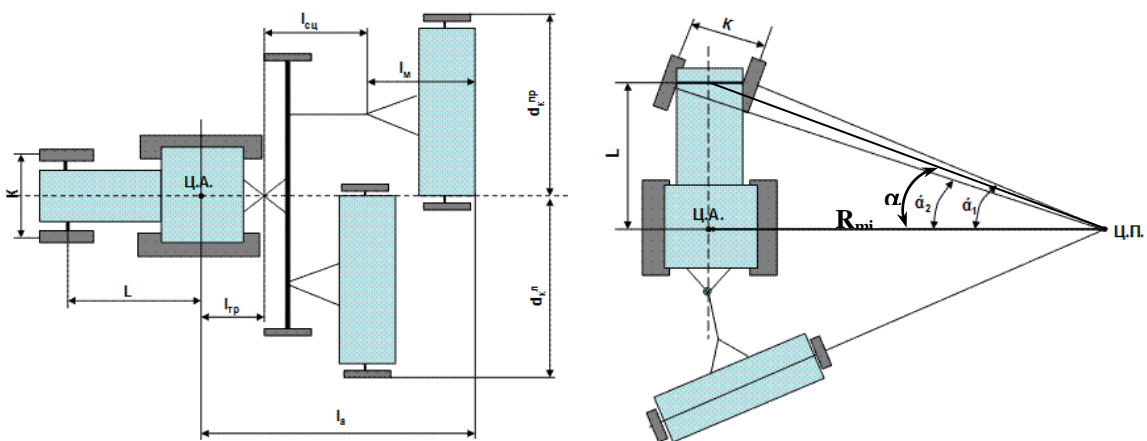
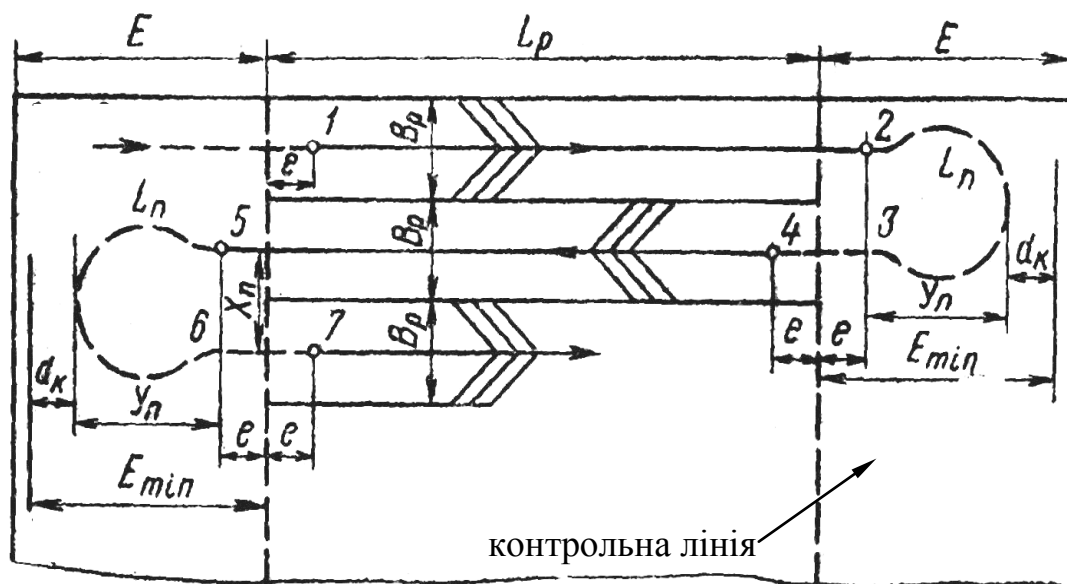


Рисунок 1 – Кінематичні параметри причіпного МТА

**Кінематичні характеристики робочої ділянки поля.** Частина або все поле, відведене для виконання відповідної с.-г. роботи одному або кільком МТА, називається **робочою ділянкою поля**. Частина такої ділянки, виділена для виконання технологічної операції у відповідності із прийнятим способом руху, називається **загінкою**, довжиною  $L$ . Частина загону, яка тимчасово виділяється для повороту МТА, називається **поворотною смугою**. Ширину її прийнято позначати буквою  $E$  (рис.2).



**Рисунок 2 – Схема робочої ділянки поля**

Лінія, яка відділяє поворотну смугу від іншої частини загону, на якій здійснюються робочі рухи машинно-тракторного агрегату, називають **контрольною лінією** (див. рис.2).

**Кінематичні характеристики трактора і агрегату.** Точка агрегату, траєкторія якої при розрахунках використовується для визначення кінематики всіх інших точок, називається **кінематичним центром МТА**, або просто **центром агрегату (Ца)**. У колісних тракторів класичної компоновки – це проекція на площину руху середини задньої ведучої осі. У тракторів з шарнірно – зчленованою рамою за таку точку приймають проекцію на площину руху середини шарніру, який з'єднує піврами трактора. Для гусеничних тракторів такою точкою є проекція на площину руху точки перетину поздовжньої осі трактора з вертикальною площиною, проведеною через середини опорних частин гусениць.

**Поворотність** колісних тракторів прийнято оцінювати коефіцієнтом ( $K_n$ ), який розраховують за формулою [1]:

$$K_{\pi} = \frac{L \cdot V_{\pi}}{\omega}, \quad (1)$$

де  $L$  – поздовжня база трактора;  
 $V_{\pi}$  – швидкість руху МТА під час виконання повороту, [м/с];  
 $\omega$  – інтенсивність перемінного керуючого впливу на органи керування трактора, [рад./с]. Оптимальна значина цього параметру знаходиться в межах  $\omega = 0,20 \dots 0,22$  рад./с [2].

**Поздовжня база ( $L$ )** - проекція на площину руху відстані між серединами передньої та задньої осей трактора. У гусеничного енергетичного засобу – це відстань між осями котків, які обмежують опорну поверхню гусениць.

**Кінематична довжина агрегату ( $l_k$ )** – це проекція на площину руху відстані між  $\text{Ц}_a$  і лінією розміщення найбільш віддаленого робочого органу знаряддя/машини (див. рис.1).

**Кінематична ширина агрегату ( $d_k$ )** - це проекція на площину руху відстані між поздовжньою віссю агрегату і найбільш віддаленою його точкою у поперечному напрямку (див. рис.3). У асиметричного агрегату розрізняють  $d_k$  вліво та вправо. Для розрахунків вибирають, як правило, більшу значину цього параметра.

**Мінімальний радіус повороту ( $R_{\min}$ )** – найкоротша відстань між центром агрегату ( $\text{Ц}_a$ ) та центром повороту ( $\text{Ц}_\pi$ ), тобто точкою, відносно якої здійснюється поворот МТА (див. рис.1). Даний параметр для тракторів класичної компоувальної схеми із передніми керованими колесами можна знайти із виразу:

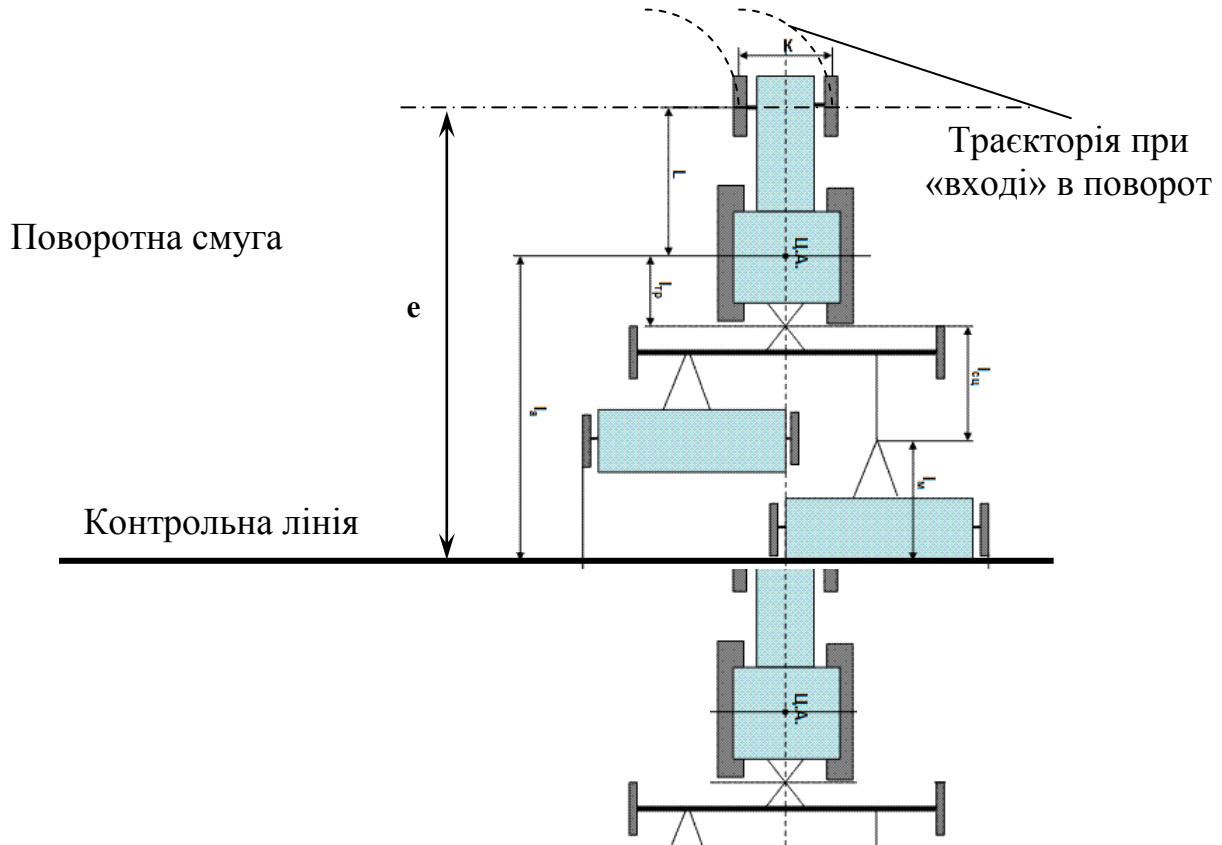
$$R_{\min} = \frac{L}{\text{tg} \cdot \alpha}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – максимальний кут повороту керованих коліс трактору (див. рис.1).

**Умовний радіус повороту ( $R_y$ )** – це радіус півкола, довжина якого дорівнює фактичній довжині безпетлевого дугоподібного (без прямолінійної ділянки) повороту агрегату на кут  $180^\circ$ . Даний параметр розраховують за формулою:

$$R_y = R_{\min} + \frac{K_{\pi}}{\pi \cdot R_{\min}} \quad (3)$$

**Довжина виїзду агрегату (e)** – відстань, на яку слід перемістити від контрольної лінії центр агрегату з тим, щоб запобігти огріхам, пошкодженню рослин тощо (див. рис. 2 та 3).



**Рисунок 3 – Схема для визначення довжини виїзду МТА**

**Мінімальний розмір ширини поворотної смуги ( $E_{\min}$ )** визначається за умови, згідно з якою крайня точка МТА, що визначається його кінематичною шириною  $d_k$ , не виходила за межі поворотної смуги.

При безпетлевих поворотах

$$E_{\min} = R_y + d_k + e \quad (4)$$

При петлевих поворотах

$$E_{\min} = 2,7 \cdot R_y + d_k + e \quad (5)$$

Для того, щоб після обробітку основної ділянки поля обробити цілим числом проходів агрегату і поворотні смуги, дійсний їх розмір ( $E$ , див. рис. 2) повинен бути кратним ширині захвату агрегату ( $B_p$ ). Тобто

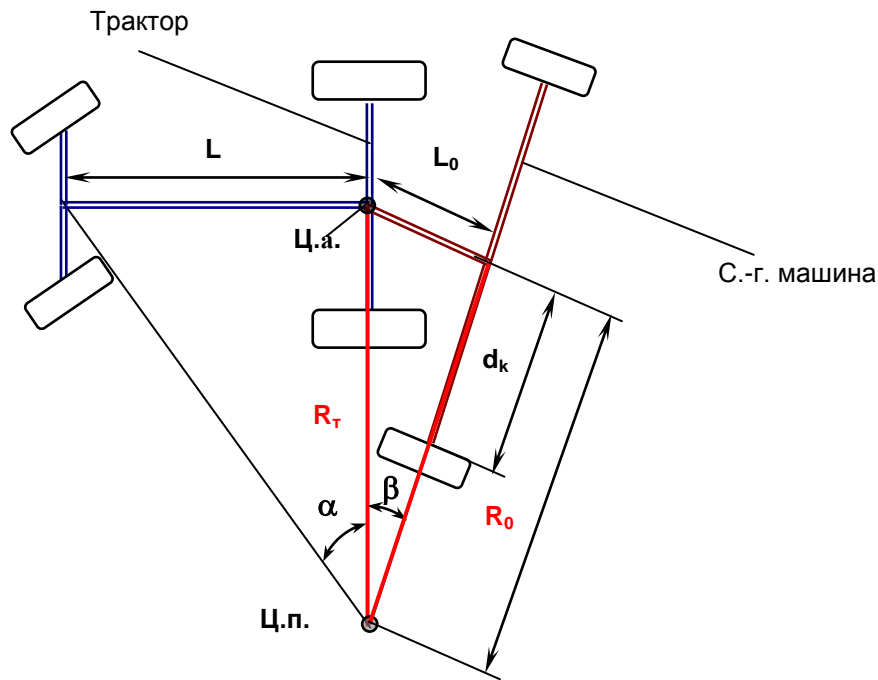
$$E_{\min} < E = k \cdot B_p,$$

(6)

де  $k$  – найменше із можливих ціле число.

### 3.2 Друга частина роботи

В якості робочого об'єкту виступає макетний зразок причіпного МТА, кінематика якого на повороті представлена схематично на рис. 4.



**Рисунок 4 – Кінематика причіпного МТА на повороті**

Для здійснення правильного (без бокового ковзання коліс) повороту за рис. 3 необхідно, щоб

$$d_k \leq R_0, \quad (7)$$

де  $d_k$  – кінематична ширина с.-г. машини;

$R_0$  – радіус повороту с.-г. машини навколо центру повороту (Ц.п.).

Розглянувши взаємозалежність геометричних та кінематичних параметрів за рис. 4 та знехтуючи кутами уводу шин коліс трактору (в силу їх малості) можна виразити умову правильного повороту (7) через конструктивні параметри МТА і кут  $\alpha_{\text{опт}}$  повороту керованих коліс трактору, за яким радіус повороту МТА буде оптимальним  $R_0$ :

$$d_k \leq R_0 = f(\alpha_{\text{опт}}, L, L_0).$$

Для причіпного одномашинного МТА за рис. 4 взаємозалежність геометричних та кінематичних параметрів, знехтуючи кутами уводу шин коліс трактору (в силу їх малості), умову (7) можна представити через конструктивні параметри МТА і кут  $\alpha$  повороту керованих коліс трактору:



$$d_{\kappa} \leq \frac{L}{\operatorname{tg} \alpha_{onm}} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{L_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{onm}}{L} \right)^2}. \quad (8)$$

Отримане значення  $\alpha_{opt}$  із (8) необхідно порівняти із максимально можливим кутом повороту  $\alpha_{max}$  керованих коліс трактору. Останній можна визначити із (2):

$$\alpha_{max} = \arctg(L/R_{min}). \quad (9)$$

Якщо  $\alpha_{max} < \alpha_{opt}$  маємо випадок недостатньої повороткості агрегату. Якщо  $\alpha_{max} > \alpha_{opt}$  - має місце зайва повороткість, яка вказує на неможливість реалізації в умовах практики максимально досягнутого значення кута  $\alpha$ . Найбільш оптимальним рішенням є умова:

$$\alpha_{max} = \alpha_{opt}. \quad (10)$$

Якщо  $\alpha_{max} \neq \alpha_{opt}$ , то в якості розрахункового кута повороту керованих коліс трактору приймається фактичне його значення  $\alpha_{\phi}$ , де  $\alpha_{\phi} \leq \alpha_{max}$  і  $\alpha_{\phi} \leq \alpha_{opt}$ .

За отриманим значенням  $\alpha_{\phi}$  розраховується мінімальний радіус повороту  $R_{min}$  за (2) та умовний радіус повороту  $R_y$  за (3).

З теорії експлуатації машин відомо [1], що критерієм вибору способу раціонального повороту МТА є узагальнений безрозмірний параметр  $n$ :

$$n = \frac{t \cdot V_n}{\sqrt{K_n}}, \quad (11)$$

де  $t$  – тривалість дії змінного керуючого впливу на механізм повороту (тривалість дії повороту керованих коліс трактору), с.

Для всіх видів раціональних поворотів параметр  $n$  знаходиться в межах  $n=0 \dots 1,77$ .

Якщо вибір способу повороту МТА приходить із варіантів безпетлевого та петлевого способів, то з деяким наближенням можна вважати, якщо умовний радіус повороту  $R_y \leq (X_{\pi}/2)$  (див. рис. 2), тут  $X_{\pi}$  – відстань на контрольній лінії між виїздом та заїздом агрегату, то МТА здатний виконати безпетлевий маневр на повороті. В іншому випадку необхідно здійснити петлевий маневр на повороті.

Мінімальний розмір ширини поворотної смуги ( $E_{min}$ ) визначають за рівнянням (4) або (5). Отримане значення  $E_{min}$  узгоджують з вимогою (6).

### 3.3 Порядок виконання роботи

Алгоритм послідовності дій щодо визначення кінематичних параметрів причіпного МТА наступний.

1. Визначають поздовжню базу трактора. Для цього енергетичний засіб вирівнюють у поздовжньому напрямку і рулеткою заміряють відстань між серединами передньої та задньої осей трактора.

2. Взагалі швидкість руху МТА на поворотній смузі визначається загальновідомими методами. В даному випадку приймаємо:

$$V_{\Pi} = 1,0 \text{ м/с};$$

$$\omega = 0,21 \text{ рад./с.}$$

3. Із виразу (1) знаходимо значення показника поворотності трактора.

4. Заміряють конструктивну ширину захвату МТА ( $B_k$ , див. рис.1). Кінематичну ширину даного агрегату ( $d_k$ , рис. 3) приймають рівною половині конструктивній ( $B_k$ ).

5. Визначають максимально можливий кут повороту  $\alpha_{\max}$  керованих коліс трактору. Для цього повертають колеса трактора на максимально можливий кут. Визначають точку центру повороту (Ц.П.) за рис. 1. Заміряють мінімально можливий радіус повороту трактору  $R_{\min}$  за рис. 1. Значення максимально можливого кута повороту  $\alpha_{\max}$  керованих коліс трактору розраховують за (9).

6. За рис. 3 кінематики причіпного МТА на повороті встановлюють взаємозалежність геометричних та кінематичних параметрів (8), з якої визначають кут  $\alpha_{\text{опт}}$  повороту керованих коліс трактору, за яким радіус повороту МТА буде оптимальним  $R_0$ .

7. Зрівнюють кути повороту  $\alpha_{\max}$  з  $\alpha_{\text{опт}}$  та приймається рішення про фактичне його значення  $\alpha_{\text{ф}}$ , де  $\alpha_{\text{ф}} \leq \alpha_{\max}$  і  $\alpha_{\text{ф}} \leq \alpha_{\text{опт}}$ .

8. Із формули (2) визначають мінімальний  $R_{\min}$ , а із виразу (3) – умовний  $R_y$  радіуси повороту трактора.

9. Для визначення способу повороту МТА (петлевий або безпетлевий) зрівнюють отримане  $R_y$  з  $X_{\Pi}/2$  (з деяким припущенням положимо, що  $X_{\Pi} = B_k$ ).

Якщо  $R_y \leq (X_{\Pi}/2)$ , то вид повороту МТА – безпетлевий, інакше – петлевий.

10. Заміряють кінематичну довжину МТА ( $l_k$ ) (рис. 1).

11. Заміряють (або розраховують) довжину виїзду агрегату (е), яка дорівнює:

$$e = L + l_k.$$

11. Із формул (4) і (5) розраховують мінімальну значину ширини поворотної смуги для відповідного способу повороту.

12. Із виразу (6) знаходять дійсну значину ширини поворотної смуги для обох способів повороту.

#### 4 ФОРМА ЗВІТУ ДО РОБОТИ

**Після виконання роботи, студент складає звіт, зміст якого включає:**

- 1) Номер, найменування та мета роботи.
- 2) Схема МТА (рис.4).
- 3) Результати визначення кінематичних характеристик причіпного МТА подаються у вигляді таблиці.

Таблиця – Параметри і кінематичні характеристики причіпного МТА

Параметр	Позначення	Значина
Поздовжня база трактора, м	L	
Кінематична довжина агрегату, м	$l_k$	
Кінематична ширина агрегату, м	$d_k$	
Конструктивна ширина захвату МТА, м	$B_k$	
Максимальний кут повороту керованих коліс трактору, град.	$\alpha_{max}$	
Оптимальний кут повороту керованих коліс трактору, град.	$\alpha_{opt}$	
Фактичний кут повороту керованих коліс трактору, град.	$\alpha_f$	
Мінімальний радіус повороту МТА, м	$R_{min}$	
Коефіцієнт повороткості агрегату, м <sup>2</sup>	$K_p$	
Умовний радіус повороту МТА, м	$R_y$	
Вид повороту	-	
Довжина виїзду агрегату, м	e	
Мінімальна ширина поворотної смуги МТА, м	$E_{min}$	
Дійсна ширина поворотної смуги МТА, м	E	

#### 5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що розуміють під робочою ділянкою поля?
2. Що розуміють під загінкою?

3. Що розуміють під контрольною лінією?
4. Що розуміють під кінематичним центром агрегату?
5. Що розуміють під кінематичний центр повороту агрегату?
6. Де знаходиться кінематичний центр у колісних тракторів класичної компоновки?
7. Де знаходиться кінематичний центр у тракторів з шарнірно–зчленованою рамою?
8. Де знаходиться кінематичний центр у гусеничних тракторів?
9. Що розуміють під кінематичною довжиною агрегату?
10. Що розуміють під кінематичною шириною агрегату?
11. Що розуміють під мінімальним радіусом повороту агрегату?
12. Що розуміють під умовним радіусом повороту агрегату?
13. Що розуміють під довжиною виїзду агрегату?
14. Що розуміють під шириною поворотної смуги?

### **ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ під час проведення лабораторних робіт**

1.1 До занять у лабораторних аудиторіях допускаються особи, що не мають медичних протипоказань та ознайомлені з інструкціями з охорони праці.

1.2 Кожен студент повинен знати та виконувати правила безпечної праці в аудиторії, правила пожежної безпеки, санітарно-гігієнічні норми і правила.

1.3 Студенти повинні:

- своєчасно з'явитися на заняття в спецодязі і з дозволу викладача зайняти своє робоче місце, перехід студентів на інше робоче місце без дозволу викладача забороняється;

- залишати лабораторію можна тільки після дзвоника і дозволу викладача;

- використовувати навчальний час для виконання завдання та не займатися зайвими справами, розмовами, своєчасно і високоякісно виконувати доручену роботу;

- економно використовувати електричну енергію, матеріали;

- під час перерви всі студенти виходять із аудиторії.

1.4 Щоб запобігти травмуванню і виникненню травмонебезпечних ситуацій, дотримуйтесь таких вимог:

- працюйте на справному обладнанні;

- використовуйте інструмент за призначенням, інакше можна не тільки зіпсувати його, а і отримати травму;

- не відволікайтесь під час роботи і не відвертайте увагу інших.