

УДК 629.7

В.В. Кириченко

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ РУХУ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ НА ОСНОВІ ТРАКТОРНОГО ПОТЯГУ ПРИ ТІЛЬКИ ПЕРЕДНІХ ВЕДУЧИХ КОЛЕСАХ

*Проведено дослідження можливості руху перспективних засобів наземного забезпечення польотів авіації (ЗНЗПА), на основі тракторного потягу, у складі "трактор + причеп" та "трактор + напівпричеп". Визначено вимоги до положення центра мас трактора, що забезпечує задані показники динамічних (тягово-швидкісних) властивостей тракторного потягу.*

**Ключові слова:** модульна техніка, трактор, причеп, напівпричеп, тягово-швидкісні властивості.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Підходи, щодо формування парку ЗНЗПА провідних держав світу визначають актуальність модульного принципу їх побудови, застосування якого дозволяє скоротити матеріальні та трудові затрати, підвищити надійність та ефективність використання комплексу ЗНЗПА [1].

На теперішній час залишаються недослідженими питання оцінки експлуатаційних властивостей перспективних енерготехнологічних агрегатів блочно-модульної структури для наземного забезпечення польотів авіації на основі модульної техніки, зокрема забезпечення стійкості руху.

Найкращі показники стійкості мають тракторні потяги, у яких ведучим є передній міст, а задні колеса працюють у веденому режимі.

Однак для забезпечення необхідних показників тягово-швидкісних властивостей тракторного потягу необхідно, щоб зчїпна вага, яка доводиться на передні колеса трактора, забезпечувала реалізацію величини тягової сили, достатньої для руху із заданою швидкістю і прискоренням.

У даній статті визначено вимоги до положення центру мас трактора, що забезпечує виконання зазначених вимог.

**Аналіз останніх публікацій.** В роботі [2] визначено взаємозв'язок між масою технологічного модуля (причепи або напівпричепи зі встановленим в них технологічним устаткуванням), масою енергетичного модуля (трактора) і потужністю його двигуна. Проведене в подальшому дослідження [3] показало, що найбільшу стійкість руху (стійкість проти заносу) мають тракторні потяги, у яких ведучим є тільки один передній міст. Однак одразу виникла проблема оцінки достатності зчїпної ваги, що припадає на передню вісь, для реалізації необхідної для руху тракторного потягу тягової сили.

**Метою статі** є визначення вимог до положення центру мас трактора, що забезпечує рух

тракторного потягу з одним переднім ведучим мостом трактора.

Для досягнення мети необхідно вирішити завдання оцінки можливості руху тракторного потягу в складі "трактор + причеп" і "трактор + напівпричеп" при реалізації необхідного рівня прискорень при розгоні.

### Викладання основного матеріалу

Раніше нами було визначено, що тракторний потяг має найбільшу стійкість при передніх ведучих і задніх ведених колесах трактора. Тому було б раціональним відключати задній міст трактора при русі по аеродрому.

Це можливо реалізувати при достатній силі зчеплення передніх коліс з опорною поверхнею. Розглянемо можливість реалізації такого варіанту приводу ведучих коліс.

Умова відсутності буксування передніх ведучих коліс трактора має наступний вигляд

$$P_k \leq (\varphi + f) R_{z1}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;

$f$  – коефіцієнт опору кочення;

$R_{z1}$  – нормальна реакція на передню вісь, Н.

При швидкостях руху тракторного потягу  $V_{\pi} \leq 40$  км/год аеродинамічним опором можна знехтувати і рівняння динаміки має наступний вигляд

$$P_k = (m_T + m_{\text{пр}})(f \cdot g + \dot{V}_{\pi}), \quad (2)$$

де  $m_T$  – маса трактору, кг;

$m_{\text{пр}}$  – маса причепу, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\dot{V}_{\pi}$  – лінійне прискорення потягу, м/с<sup>2</sup>.

Підставляючи вираз (2) в нерівність (1), отримаємо після перетворень таке:

а) для тракторного потягу "трактор + причеп":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{f}{\varphi+f} \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left( \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{r_{д2}}{L} \right) \right] + \\ & + \frac{\dot{V}_n}{g(\varphi+f)} \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left( \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} \right) \right] - \end{aligned} \quad (3)$$

де  $b$  – відстань від проекції центру мас трактору на горизонтальну площину до задньої вісі, м;

$L$  – колісна база трактору, м;

$r_{д1}$ ,  $r_{д2}$  – динамічний радіус коліс відповідно передньої та задньої вісі трактору, м;

$h$  та  $h_{кр}$  – висота центру мас трактора та висота точки під'єднання причепу, м;

б) для тракторного потягу "трактор + напівпричеп":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{f}{\varphi+f} \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left( \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} \frac{a_{np}}{L_{np}} + \frac{r_{д2}}{L} \right) \right] + \\ & + \frac{m_{np}}{m_T} \frac{d}{L} \left[ 1 - \frac{a_{np}}{L_{np}} \frac{h_{кр} - r_{д np}}{L_{np}} \right] + \\ & + \frac{\dot{V}_n}{g(\varphi+f)} \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left( \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{np} - h_{кр}}{L_{np}} \frac{d - f \frac{h_{кр}}{L}}{1 + f \frac{h_{кр} - r_{д np}}{L_{np}}} \right) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

де  $a_{np}$  – відстань від проекції центру мас причепу на горизонтальну площину до передньої вісі, м;

$L_{np}$  – колісна база причепу, м;

$r_{д np}$  – динамічний радіус коліс причепу, м;

$d$  – горизонтальна координата точки з'єднання з причепом, м.

Прискорення  $\dot{V}_n$  тракторного потягу створюється за рахунок наявності запасу потужності двигуна трактора.

Рівняння балансу потужностей тракторного потягу має вигляд

$$N_e \cdot \eta_{tp} = (m_T + m_{np}) (f \cdot g + \dot{V}_n) V_n, \quad (5)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна, Вт;

$\eta_{tp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$V_n$  – лінійна швидкість тракторного потягу, м/с.

З рівняння (4) визначимо прискорення

$$\dot{V}_n = \frac{N_e \cdot \eta_{tp}}{(m_T + m_{np}) V_n} - f \cdot g. \quad (6)$$

Підставляючи вираз (6) в нерівність (3) і (4), отримуємо після перетворень:

а) для тракторного потягу в складі "трактор + причеп":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{N_e \cdot \eta_{tp}}{(m_T + m_{np}) (\varphi+f) \cdot g \cdot V_n} \times \\ & \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left( \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} \right) - f \frac{h - r_{д2}}{L} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

б) для тракторного потягу в складі "трактор + напівпричеп":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{N_e \cdot \eta_{tp}}{(m_T + m_{np}) (\varphi+f) \cdot g \cdot V_n} \times \\ & \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left( 1 - f \frac{r_{д2}}{L} - \varphi \frac{r_{д1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + f \left\{ \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L_{np}} \left[ \frac{h_{кр}}{L} \left( \frac{b_{np}}{L_{np}} + f \frac{h_{кр} - r_{д np}}{L_{np}} \right) - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{h_{np} - h_{кр}}{L_{np}} \left( \frac{d}{L} - f \frac{h_{кр}}{L} \right) \right] + \frac{h - r_{д2}}{L} \right\} + (\varphi+f) \times \right. \\ & \left. \times \left[ \frac{m_{np}}{m_T} \left( \frac{h_{кр}}{L} - \frac{h_{np} - h_{кр}}{L} \frac{d - f \frac{h_{кр}}{L}}{1 + f \frac{h_{кр} - r_{д np}}{L_{np}}} \right) + \frac{h}{L} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

де  $b_{np}$  – відстань від проекції центру мас причепу на горизонтальну площину до задньої вісі, м.

Визначимо з виразів (2) і (3) максимальні значення прискорень, з якими може рухатися тракторний потяг при тяговому приводі тільки на передні колеса.

Вважаючи, що праві частини вказаних виразів максимальні, знаходимо максимальну швидкість руху для тракторного потягу у складі "трактор + причеп"

$$\dot{V}_{\text{п max}} = \frac{\left( g(\varphi + f) \frac{b}{L} \right) - g \cdot f \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} + \frac{r_{\text{д2}}}{L} \right) \right]}{\left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} + \frac{h}{L} \right)} \quad (9)$$

і для тракторного потягу в складі "трактор + напівпричеп"

$$\dot{V}_{\text{п max}} = g(\varphi + f) \times \frac{\frac{b}{L} - \frac{f}{\varphi + f} \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \times \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} \frac{\frac{a_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}}}{1 + f \frac{h_{\text{кр}} - r_{\text{д пр}}}{L_{\text{пр}}} + \frac{r_{\text{д2}}}{L}} \right) \right] + \frac{m_{\text{пр}} d}{m_{\text{Т}} L} \left( 1 - \frac{\frac{a_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}}}{1 + f \frac{h_{\text{кр}} - r_{\text{д пр}}}{L_{\text{пр}}}} \right)}{\left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} + \frac{h}{L} - \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{пр}} - h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} \frac{\frac{d - f \frac{h_{\text{кр}}}{L}}{1 + f \frac{h_{\text{кр}} - r_{\text{д пр}}}{L_{\text{пр}}}} \right)} \quad (10)$$

З виразів (9) і (10) видно, що рух тракторного потягу з прискоренням  $\dot{V}_{\text{п}} > 0$  при одному передньому ведучому мосту можливий у таких випадках:

а) "трактор + причеп"

$$\frac{b}{L} > \frac{f}{\varphi + f} \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} + \frac{r_{\text{д2}}}{L} \right) \right] \quad (11)$$

і "трактор + напівпричеп".

$$\frac{b}{L} > \frac{f}{\varphi + f} \times \left[ \left( 1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{Т}}} \right) \left( 1 - f \frac{r_{\text{д2}}}{L} - \varphi \frac{r_{\text{д1}}}{L} \right) + (\varphi + f) \left( \frac{m_{\text{пр}} h_{\text{кр}}}{m_{\text{Т}} L} \frac{\frac{a_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}}}{1 + f \frac{h_{\text{кр}} - r_{\text{д пр}}}{L_{\text{пр}}} + \frac{r_{\text{д2}}}{L}} \right) \right] + \frac{m_{\text{пр}} d}{m_{\text{Т}} L} \left( 1 - \frac{\frac{a_{\text{пр}}}{L_{\text{пр}}}}{1 + f \frac{h_{\text{кр}} - r_{\text{д пр}}}{L_{\text{пр}}}} \right) \quad (12)$$

## Висновки

В результаті проведеного дослідження отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити зону значень горизонтальної координати центра мас трактора, попадання в яку забезпечує можливість створення тягової сили для руху перспективних ЗНЗПА, на основі тракторного потягу, тільки колесами переднього моста трактора.

## Список літератури

1. Мельник П. Направленность НИОКР ВВС США по развитию авиационного вооружения и военной техники / П. Мельник // Зарубежное военное обозрение. – 2005. – № 8. – С. 30-38.
2. Подригало М.А. Формування гальмових та динамічних властивостей модульної техніки для аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації / М.А. Подригало, В.М. Краснокутський, В.В. Кириченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 3 (11). – С. 69-73.
3. Курсовая устойчивость тракторного поезда при различном распределении крутящих моментов между мостами / З.Э. Забелышинский, В.В. Кириченко, Д.М. Клец, М.А. Подригало // Вісник ХНТУСГ "Механізація сільськогосподарського виробництва та переробки сільськогосподарської продукції". – 2010. – № 103. – С. 217-227.

Надійшла до редколегії 27.04.2012

**Рецензент** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ  
БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ НА ОСНОВЕ ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА  
ПРИ ТОЛЬКО ПЕРЕДНИХ ВЕДУЩИХ КОЛЕСАХ**

В.В. Кириченко

*Проведено исследование возможности движения перспективных средств наземного обеспечения полетов авиации, на основе тракторного поезда, в составе «трактор + прицеп» и «трактор + полуприцеп». Определены требования к положению центра масс трактора, что обеспечивает заданные показатели динамических (тягово-скоростных) свойств тракторного поезда.*

**Ключевые слова:** модульная техника, трактор, прицеп, полуприцеп, тягово-скоростные свойства.

**EVALUATION OF POSSIBLE MOTIONS OF MODULAR STRUCTURE  
ENERGO-TECHNOLOGICAL UNITS FOR AVIATION FLIGHT  
SUPPORT GROUND BASED ON TRACTOR TRAIN  
WITH ONLY FRONT DRIVEN WHEELS**

V.V. Kirichenko

*A study of perspective aviation flight support ground aids based on tractor train possible motions in the "tractor + trailer" and "tractor + semitrailer". The requirements for the position of the tractor center mass, which provides set of dynamic parameters (pull-speed) properties tractor train.*

**Keywords:** modular equipment, tractor, trailer, semi-trailer, dynamic properties.