

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 φ – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;

f – коефіцієнт опору кочення;

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

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

$$P_k = (m_T + m_{np})(f \cdot g + \dot{V}_n), \quad (2)$$

де m_T – маса трактору, кг;

m_{np} – маса причепу, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

\dot{V}_n – лінійне прискорення потягу, м/с².

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

а) для тракторного потягу "трактор + причеп":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{f}{\varphi+f} \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left(\frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{r_{d2}}{L} \right) \right] + \\ & + \frac{\dot{V}_n}{g(\varphi+f)} \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left(\frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} \right) \right] - \end{aligned} \quad (3)$$

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

L – колісна база трактору, м;

r_{d1} , r_{d2} – 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":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{f}{\varphi+f} \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left(\frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} \frac{a_{np}}{L_{np}} + \frac{r_{d2}}{L} \right) \right] + \\ & + \frac{m_{np}}{m_T} \frac{d}{L} \left[1 - \frac{a_{np}}{L_{np}} \frac{h_{кр} - r_{d np}}{1 + f \frac{h_{кр} - r_{d np}}{L_{np}}} \right] + \\ & + \frac{\dot{V}_n}{g(\varphi+f)} \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left(\frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} - \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{np} - h_{кр}}{L_{np}} \frac{d - f \frac{h_{кр}}{L}}{1 + f \frac{h_{кр} - r_{d np}}{L_{np}}} \right) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

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

L_{np} – колісна база причепу, м;

$r_{d np}$ – 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;

η_{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":

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{N_e \cdot \eta_{tp}}{(m_T + m_{np})(\varphi+f) \cdot g \cdot V_n} \times \\ & \times \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + (\varphi+f) \left(\frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L} + \frac{h}{L} \right) - f \frac{h - r_{d2}}{L} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{b}{L} \geq & \frac{N_e \cdot \eta_{tp}}{(m_T + m_{np})(\varphi+f) \cdot g \cdot V_n} \times \\ & \times \left[\left(1 + \frac{m_{np}}{m_T} \right) \left(1 - f \frac{r_{d2}}{L} - \varphi \frac{r_{d1}}{L} \right) + \right. \\ & \left. + f \left\{ \frac{m_{np}}{m_T} \frac{h_{кр}}{L_{np}} \left[\frac{h_{кр}}{L} \left(\frac{b_{np}}{L_{np}} + f \frac{h_{кр} - r_{d np}}{L_{np}} \right) - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. - \frac{h_{np} - h_{кр}}{L_{np}} \left(\frac{d}{L} - f \frac{h_{кр}}{L} \right) \right] + \frac{h - r_{d2}}{L} \right\} + (\varphi+f) \times \right. \\ & \left. \times \left[\frac{m_{np}}{m_T} \left(\frac{h_{кр}}{L} - \frac{h_{np} - h_{кр}}{L} \frac{d - f \frac{h_{кр}}{L}}{1 + f \frac{h_{кр} - r_{d np}}{L_{np}}} \right) + \frac{h}{L} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

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"

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

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.