

УДК 531.2:621.3

М.А. Подригало¹, В.М. Краснокутський², В.В. Кириченко¹¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ФОРМУВАННЯ ГАЛЬМОВИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДУЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ

Проведено дослідження дозволених меж використання модульної техніки для забезпечення бойових дій авіації без використання активних причепів та напівпричепів як технологічного модуля, а також при відсутності на них гальм. Визначено дозворене співвідношення ваги технологічного та енергетичного модулів, а також потужність двигуна, яка потребується.

модульна техніка, технологічний модуль, енергетичний модуль, гальмові та динамічні якості машин

Вступ

Застосування модульного принципу будівництва техніки для аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації дозволяє скоротити матеріальні й трудові витрати, зменшити особовий склад парку, який обслуговує машини, підняти надійність праці останнього та оптимізувати його структуру. Цей принцип знайшов втілення у практичній роботі аеропортів багатьох країн світу.

Але застосування модульних машин (енерго-технологічних агрегатів блочно-модульної структури – ЕТАБМС), які складаються з енергетичного та технологічного модулів, потребує наявності надійних стикувальних пристроїв. При постійному перестикі модулів, яке проходить на протязі всього виробничого циклу, необхідні пристрої, які дозволяють також поєднати допоміжні комунікації: енергетичні мережі, гальмові магістралі і т.п.

При недостатній тяговій силі, яка утворюється енергетичним модулем, може виникнути необхідність здійснення тягового приводу на колеса технологічного модуля (застосування активних причепів та напівпричепів), що потребує стикування валів трансмісії. Все це потребує застосування надійних стикувальних пристроїв, значно ускладнюючих, здорожуючих конструкцію.

Аналіз літератури. Розробці і дослідженню модульної техніки, яка використовується в різних галузях господарської діяльності людини, присвячено значну кількість праць [1 – 6]. Розроблені основні принципи побудови модульних машин. Показана можливість їх використання в різних галузях техніки. Визначено, що основними базовими агрегатами (модулями) є енергетичний та технологічний модулі.

Енергетичний модуль керує роботою агрегату, на ньому встановлені: двигун, трансмісія та ведучі колеса, а також командний модуль.

На технологічному модулі встановлюється технологічне спорядження для виконання тих або інших виробничих процесів. Коли це технологічні машини, то вони можуть мати автономний привід від особистого джерела енергії або використовувати привід від енергетичного модуля.

Використання модульного принципу для побудови парку машин наземного забезпечення бойових дій авіації розглянуто в [4]. Однак у названій роботі, при формуванні парку модульної техніки, не враховувались гальмові та динамічні якості машин.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування ваги та потужності двигуна енергетичного модуля, який використовується в ЕТАБМС наземного забезпечення бойових дій авіації, з урахуванням гальмових та динамічних якостей.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

– визначити можливість гальмування машини тільки колесами енергетичного модуля і відповідно реалізації цієї можливості, співвідношення ваги енергетичного та технологічного модулів;

– визначити потужність двигуна енергетичного модуля, виходячи із заданого співвідношення ваги модулів і відсутності ведучих коліс у технологічному модуля.

Основна частина

Існуючі методики проектування гальмового керування передбачають використання як вихідних даних загальної ваги машини й положення її центру ваги. Ці величини мають фіксовані значення для кожного навантаженого стану. Для легкових автомобілів, одиничних колісних тракторів та самохідних шасі вони змінюються у відносно невеликих межах, а для вантажних автомобілів та автобусів – у більш широких, але для ЕТА БМС вони можуть мати реальні значення.

Накопичений [6] досвід проектування гальмових систем родини автомобілів дозволяє використовувати в них уніфіковані вузли й апарати гальмового приводу. Гальмові системи ЕТА БМС повинні мати або одні і ті ж вузли й апарати, адаптовані до вимог, які змінюються у широких межах, або мати можливість простого переналадження.

Гальмове керування включає в себе автономне гальмове керування енергомодуля, до якого у випадку необхідності можуть підключатися гальмові керування різних технологічних модулів. Коли повна вага технологічних модулів (зі встановленими технологічними машинами або механізмами) мала, у порівнянні з вагою енергомодуля, і коли це дозволяють вимоги стандартів, то технологічний модуль може не мати гальмового керування.

Якщо повна вага технологічного модуля значно перевищує вагу енергомодуля або змінюється в широких межах у процесі експлуатації, то необхідно включення до гальмового приводу регулятора гальмових сил, який узгоджує гальмові сили на осях цих модулів.

На схемі пунктиром показані зв'язки, наявність яких залежить від конструктивних виконань гальмового керування. Наприклад, коли в конструкції передбачений окремий стоянковий гальмовий механізм, який встановлюється в трансмісії. Коли зчїпна вага, яка припадає на колеса енергомодуля, і недостатня для забезпечення надійної роботи стоянкової гальмової системи, то необхідно передбачати стоянковий привід гальм технологічного модуля. З'єднувальні (стикувальні) елементи гальмового приводу модулів повинні мати високу надійність.

Працюючий гальмовий привід повинен мати додаткове джерело енергії (гідронасос або компресор). Гідростатичний гальмовий привід може використовуватися тільки окремо на кожному модулі при наявності узгоджуючого передаточного пристрою, отже при прокачуванні гальмової рідини після кожної стиковки модулів надто трудомістка операція. Для забезпечення пересування одновісного енергетичного модуля в автономному режимі повинно бути передбачено в гальмовому приводі пристрій для роздільного гальмування бортів. Причепи та напівпричепи розглядаються як технологічні модулі.

Відзнакою проектування елементів гальмового керування ЕТА БМС є визначення навантажувальних режимів. Це стосується, насамперед, гальмових механізмів їх енергонавантаження, температурний режим, довговічність залежать від розміру кінетичної енергії, яку поглинають машини. Оскільки цей розмір змінюється у межах, то в широких межах змінюється й енергонавантаженість гальмових механізмів. Ці обставини потребують удосконалення існуючих методик проектування з урахуванням спе-

цифіки ЕТА БМС.

Для аеродромної техніки доцільно використовувати двовісні енергетичні модулі, оскільки це полегшує процес стикування – розстикування.

Враховуючи обмеження максимальної швидкості руху колісної техніки по аеродрому величиною $V_T = 5 \text{ км/г (1,389 м/с)}$, як енергетичний модуль доцільно використовувати колісний трактор. При малій швидкості руху трактора з'являється можливість найбільш ефективного використання потужності двигуна.

Реалізація переваг використання ЕТА БМС для обслуговування літаків порівняно з традиційними конструкціями можлива у випадку швидкого перестікування енергетичних та технологічних модулів. Якщо трудомісткість з'єднання енергетичних систем мала, то з'єднання та роз'єднання трубопроводів гальмового приводу потребує значного часу й надійного забезпечення герметичності. При частому повторенні вказаних операцій відбувається знос з'єднань, який веде до відмови гальмового керування. Тому, якщо для гальмування ЕТА БМС використовувати тільки гальмові механізми енергетичного модуля (у даному випадку – трактори), то це дозволить обминути проведення вказаних операцій.

Очевидно, що ефективність гальмування й енергонапруженість гальмових механізмів енергетичного модуля може бути обмеженням загальної ваги ЕТА БМС (у нашому випадку – тракторного поїзда).

Якщо припустити, що на всіх колесах енергетичного модуля (трактора) встановлені гальмові механізми, то його зчїпна вага використовується цілком. У цьому випадку максимальна гальмова вага, яка розвивається на колесах трактора:

$$P_{Tmax} = M_{em} \cdot g \cdot \varphi, \quad (1)$$

де M_{em} – загальна вага енергетичного модуля (трактори); g – прискорення вільного падіння $g=9,81 \text{ м/с}^2$; φ – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою для сухого бетону $\varphi=0,8$.

Стале уповільнення ЕТА БМС

$$j_{уста} = \frac{P_{Tmax}}{M_A} \geq [j_{уст}], \quad (2)$$

де $[j_{уст}]$ – нормативне значення середнього сталого уповільнення; M_A – загальна вага ЕТА БМС;

$$M_A = M_{em} + M_{tm}, \quad (3)$$

M_{tm} – загальна вага технологічного модуля.

Підставляючи вирази (1) та (3) до нерівності (2), визначимо найбільшу припустиму величину співвідношення ваги технологічного та енергетичного модулів

$$\left(\frac{M_{tm}}{M_{em}} \right) \leq \left[\frac{g\varphi}{j_{уст}} \right] - 1. \quad (4)$$

На сьогоднішній день величина нормативного середнього сталого уповільнення для тракторного поїзда складає (6) $[j_{yct}] = 4,4 \text{ м/с}^2$.

Підставляючи нормативне значення до співвідношення (4), отримуємо для випадку гальмування на сухому бетоні $M_{TM} / M_{EM} = 0,784$. Таким чином, якщо загальна вага технологічного модуля (причіпа, зі встановленим у ньому технологічним обладнанням) не перевищує $0,784 M_{EM}$, то можна не обладнувати колеса причепа гальмовими механізмами. Якщо енергетичний модуль має опорно-зчпний (сідельне) пристрій і агрегується з напівприцепом, то в цьому випадку ЕТА БМС може розглядатися як одиночний трактор, для якого (6) $[j_{yct}] = 3,5 \text{ м/с}^2$. Підставляючи це нормативне нерівняння (4), отримуємо $M_{TM} / M_{EM} = 1,242$.

Таким чином, при використанні опорно-зчпного пристрою і напівпричепа маса останнього може досягати $M_{TM} = 1,242 M_{EM}$. Крім того, частина навантаження напівпричепа припадає на гальмові колеса енергетичного модуля, що дозволяє збільшити P_{Tmax} .

При гальмуванні кінетична енергія машини поглинається і розсіюється гальмівними механізмами. Гальмівні механізми розраховуються на максимальну енергонавантаженість, яка визначається за максимальним рівнем поглиненої кінетичної енергії.

Для одиночного трактора максимальне значення кінетичної енергії визначається такою залежністю

$$W_{kmax}^{em} = \frac{m_{em} \cdot V_{max}^2}{2}, \quad (5)$$

де V_{max} – максимальна транспортна швидкість трактора (енергетичного модуля).

Максимальні транспортні швидкості колісних тракторів на сьогодні можуть досягати (6) величини $V_{max} = 40 \text{ км/ч}$ ($11,11 \text{ м/с}$).

Максимальне значення кінетичної енергії ЕТА БМС (агрегату)

$$W_{kmax}^A = \frac{M_A \cdot V_T^2}{2}. \quad (6)$$

З умови $W_{kmax}^A \leq W_{kmax}^{em}$ визначимо межу максимального значення V_T

$$V_T \leq V_{max} \sqrt{\frac{1}{1 + M_{TM} / M_{em}}}. \quad (7)$$

При використанні двовісних причепів

$$\frac{M_{TM}}{M_{EM}} \leq 0,784.$$

У цьому випадку, при $V_{max} = 11,11 \text{ м/с}$, отримуємо $V_T \leq 8,31 \text{ м/с}$ (30 км/ч).

При використанні напівпричепів

$$\frac{M_{TM}}{M_{EM}} \leq 1,242$$

та $V_T \leq 7,41 \text{ м/с}$ (27 км/ч).

Таким чином, при виконанні отриманих умов можна не обладнувати технологічні модулі (причепи і напівпричепи) гальмами. При заданій технологічній швидкості руху по аеродрому $V_T = 5 \text{ км/ч}$ ($1,389 \text{ м/с}$) енергонавантаженість гальмових механізмів буде значно менше максимально допустимої величини.

Вибір потужності двигуна з урахуванням динамічних властивостей ЕТА БМС. Потужність двигуна, що витрачається на рух ЕТА БМС:

$$N_{езатр} = \frac{N_f + N_{букс} + N_w + N_A}{\eta_{букс} \cdot \eta_{тр}}, \quad (8)$$

де N_f – потужність, що витрачається на подолання опору котіння;

$$N_f = M_A \cdot g \cdot f \cdot V_T, \quad (9)$$

f – коефіцієнт опору котіння;

$N_{букс}$ – потужність, що витрачається на буксування ведучих коліс енергомодуля;

$$N_{букс} = M_{em} \cdot g \cdot K_{cc} \cdot \phi \cdot \frac{S}{1-S} \cdot V_T, \quad (10)$$

K_{cc} – коефіцієнт використання зчпної ваги енергомодуля, при всіх провідних колесах, $K_{cc} = 1$;

S – відносне буксування провідних коліс

$$S = \frac{w_k \cdot r_\delta - V_T}{w_k \cdot r_\delta} = 1 - \frac{V_T}{w_k \cdot r_\delta}, \quad (11)$$

w_k – кутова швидкість ведучих коліс;

r_δ – динамічний радіус ведучих коліс;

N_w – потужність, що витрачається на подолання аеродинамічного опору; при $V_T \leq 10-12 \text{ км}$ опором повітря можна нехтувати;

N_a – потужність, що витрачається на розгін агрегату;

$$N_a = (\delta m_{em} + m_{TM}) \frac{dv}{dt}, \quad (12)$$

δ – коефіцієнт урахування ваги двигуна і трансмісії, що обертаються;

$\eta_{тр}$, $\eta_{букс}$ – КПД трансмісії енергомодуля і КПД фрикційного контакту ведучих коліс зі шляхом;

$$\eta_{букс} = 1 - S.$$

Максимально можливе прискорення агрегату

$$d_{max} = \left(\frac{dv}{dt} \right)_{max} = \frac{K_{cc}}{\delta + \tau_{TM} / \tau_{em}}. \quad (13)$$

Підставляючи вирази (9) – (13) у рівняння (8),

отримаємо

$$N_{\text{езатр}} = \frac{m_{\text{ЕМ}} \cdot g \cdot V_T}{\eta_{\text{ТР}}(1-S)} \left[\left(1 + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) f + \frac{K_{\text{сц}} \cdot \varphi}{1-S} \right]. \quad (14)$$

Питома потужність двигуна

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{езатр}}}{m_{\text{ем}} \cdot g} = \frac{V_T}{\eta_{\text{ТР}} \cdot (1-S)} \left[\left(1 + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) f + \frac{K_{\text{сц}} \cdot \varphi}{1-S} \right]. \quad (15)$$

Приймаємо для розрахунку такі початкові дані: $V_T = 1,389 \text{ м/с}$; $\eta_{\text{ТР}} = 0,9$; $S = 0,2$ (оптимальне значення в тяговому режимі руху); $\varphi = 0,8$; $f = 0,015$ (для бетону); $K_{\text{сц}} = 1$ (для енергомодуля зі всіма ведучими колесами); $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 0,784$ (для причіпного технологічного модуля); $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 1,242$ (для технологічного модуля, що встановлюється на опорнозчіпний пристрій). Після підстановки значень до формули (15) отримаємо $N_{\text{уд}} = 1,981 \text{ Вт/Н}$ – при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 0,784$ та при $N_{\text{уд}} = 1,994 \text{ Вт/Н}$ – при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 1,242$. Вираз (15) отриманий з умови забезпечення максимального прискорення при розгоні (див. залежність (13)). При прийнятих значеннях $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}}$, допускаючи значення $\delta = 1,5$, отримаємо:

при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 1,242 - a_{\text{max}} = 3,44 \text{ м/с}^2$;

при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 0,784 - a_{\text{max}} = 2,86 \text{ м/с}^2$.

Якщо закласти у розрахунок значення $a \leq a_{\text{max}}$, то вирази (14) і (15) наберуть вигляду

$$N_{\text{езатр}} = \frac{m_{\text{ем}} \cdot g \cdot V_T}{\eta_{\text{ТР}}(1-S)} \left[\left(1 + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) f + K_{\text{сц}} \varphi \frac{S}{1-S} + \left(\delta + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) \frac{a}{a_{\text{max}}} \right]; \quad (16)$$

$$N_{\text{уд}} = \frac{V_T}{\eta_{\text{ТР}}(1-S)} \left[\left(1 + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) f + K_{\text{сц}} \varphi \frac{S}{1-S} + \left(\delta + \frac{m_{\text{ТМ}}}{m_{\text{ЕМ}}} \right) \frac{a}{a_{\text{max}}} \right]. \quad (17)$$

Знаючи питому потужність двигуна, визначимо потужність двигуна залежно від загальної ваги енергетичного модуля:

при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 1,242 - N_{\text{еном}} = N_{\text{езатр}} = 1,981 \text{ г ме, Вт}$;

при $m_{\text{ТМ}}/m_{\text{ЕМ}} = 0,784 - N_{\text{еном}} = N_{\text{езатр}} = 1,994 \text{ г ме, Вт}$.

На рис. 1 наведені номограми, що дозволяють визначати потужність двигуна і вагу енергетичного модуля залежно від ваги технологічного модуля. При побудові номограм використовувалися залежності (4), (16) і (17).

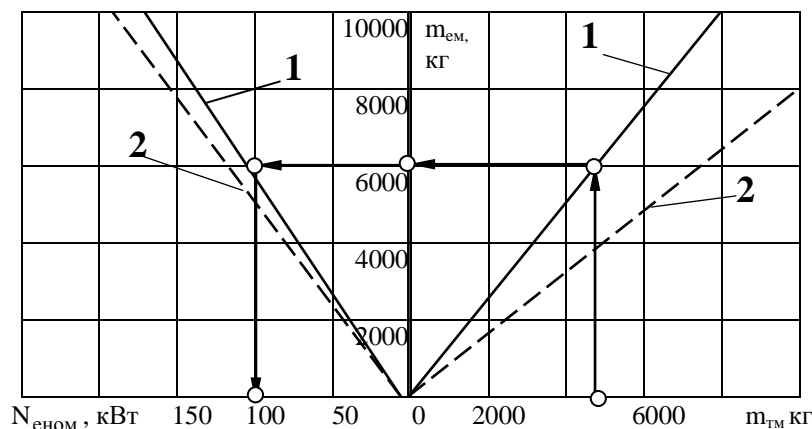


Рис. 1. Номограми для визначення потужності двигуна і ваги енергетичного модуля залежно від ваги технологічного модуля: 1 – причіпа; 2 – напівпричіпа

Висновки

Енергетичні агрегати блоково-модульної структури, призначені для наземного забезпечення бойових дій авіації, повинні забезпечувати швидке перестикання модулів при виконанні технологічних операцій. Тому бажано, щоб технологічний модуль (причіп або напівпричіп) не мав активного приводу та гальмових коліс.

Колеса технологічних модулів можна не гальмувати, якщо співвідношення ваги технологічного і енергетичного модулів не перевищує величини 0,784 при агрегуванні з причепом і величини 1,242 при агрегуванні з напівприцепом. Отримані аналі-

тичні залежності дозволили визначити вплив загальної ваги енергомодуля на величину потужності двигуна. Визначено, що питома потужність двигуна (відношення номінальної потужності двигуна $N_{\text{еном}}$ до загальної ваги енергомодуля $m_{\text{ем}}g$) складає $N_{\text{уд}} = 2 \text{ Вт/Н}$.

Отримані результати можуть бути використані при формуванні парку модульної техніки для наземного забезпечення бойових дій авіації.

Список літератури

1. Васильєв А.Л. Модульний принцип формування техніки. – М.: Видавництво стандартів, 1989. – 240 с.

2. Герасун В.М. Основы теории проектирования блочно-модульных погрузочно-транспортных сельскохозяйственных агрегатов: Автореф. Дис. д-ра техн. наук: 05.2004, 05.20. 01/АО «ВИСХОМ»: – М.: 1997. – 39 с.

3. Кириленко І.Г. Модульна концепція проектування технологічних машин для будівельного виробництва. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 119 с.

4. Краснокутський В.М. Оцінювання динамічних характеристик модульних енергетично-технологічних засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 2 (2). – С. 107-111.

5. Подригало М.А. Теоретическое обоснование и разработка тормозного управления колесных тракторов и

трансформируемых энерготехнологических агрегатов: Дис. д-ра техн. наук: 05.05.03 – Х., 1994. – 378 с.

6. Шасі автомобіля ЗІЛ-130. Практика проектування випробувань і доведення / Під ред. А.М. Крігера. – М.: Машинобудування, 1973. – 400 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.