

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 621.86

В.П. Греков, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ВИБОРУ ТОЧОК КРІПЛЕННЯ ДОМКРАТУ НА СТІЛІ І НА РАМІ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

У статті показаний підхід до визначення оптимального положення і розмірів домкрата в системі підйому стріли з вантажем. Знайдені аналітичні залежності, які дозволяють при проектуванні системи підйому стріли проводити вибір параметрів її елементів. Приведена, розроблена авторами методика вибору положення точок кріплення на стрілі і на рамі агрегату домкрата, що дозволяє проводити оптимізацію основних характеристик домкрата та забезпечує його малі діаметр, хід і масу.

**Ключові слова:** система підйому стріли, домкрат, стріла, рама, агрегат.

### Вступ

**Постановка завдання.** В наземному обладнанні, призначеному для транспортування, перевантаження та запуску літальних апаратів широко використовуються механізми підйому з гідравлічним приводом. Вибір конструктивних параметрів основного елемента таких механізмів – гідроциліндру є складним завданням. Системи підйому з гідродомкратами мають високу вартість, тому пошук методики проектування системи підйому стріли з вантажем, що забезпечує найменші розміри гідродомкрата і дозволяє забезпечити ефективну роботу системи підйому стріли з вантажем є актуальним завданням. В даній статті викладена методика вибору точок кріплення домкрата і його розмірів, інші етапи проектування системи підйому з гідродомкратами не розглядаються.

**Аналіз публікацій.** Існують трудомісткі методики проектування систем підйому стріли з вантажем, викладені в [1–5] і в інших джерелах інформації, наявної у розпорядженні авторів. В них наводяться методики розрахунку підйомних механізмів, що базуються на стандартах та рекомендаціях, але в них відсутня методика вибору точок кріплення домкрата для оптимізації параметрів домкрата.

**Мета статті** – представити розроблену методику вибору положення і розмірів домкрата в системі підйому стріли з вантажем.

### Основна частина

Одним з найважливіших елементів при проектуванні механізму підйому стріли з вантажем є вибір точок кріплення на стрілі і на рамі агрегату домкрата, що забезпечує його малі діаметр, хід і масу.

Момент від стріли з вантажем – величина нелінійна. Як правило на початку підйому вона максимальна, а у кінці підйому змінює знак. Площа гідра-

влічного циліндра з боку поршня зазвичай більша, ніж з боку штока тому зусилля домкрата при його висуненні буде більше, ніж при втягуванні.

Схема механізму підйому показана на рис. 1. Для наочності розрахунків і побудови графіків залежностей застосовані наступні параметри:  $m = 12000$  кг – приведена маса стріли з вантажем;  $r_m$  – радіус центру мас (ЦМ);  $h_m = 0,5$  м – висота ЦМ над стрілою;  $l_2 = 3$  м – відстань до ЦМ;  $M_p = 3,525 \cdot 10^5$  Н·м – початковий момент;  $\phi$  – кут повороту стріли;  $d_p = 0,15$  м – діаметр поршня домкрата;  $p_1 = p_2 = 20$  МПа – тиск насоса при підйомі і опусканні;  $M_k = 5,886 \cdot 10^4$  Н·м – кінцевий момент;  $\theta$  – кут нахилу радіуса ЦМ до осі  $x$ .

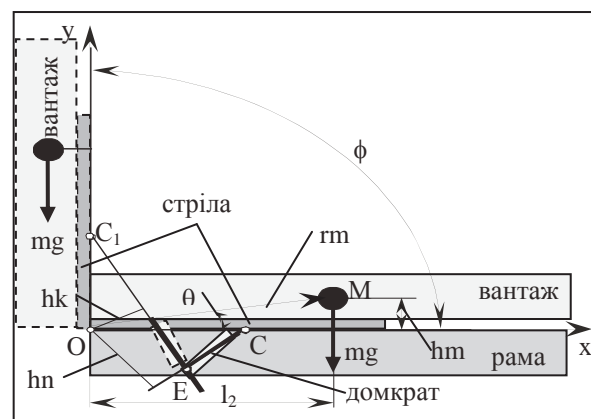


Рис. 1. Схема механізму підйому

Задавши тиск в гідравлічній системі і діаметр циліндра, визначаємо потрібне плече домкрата на початку підйому. Для перекладу системи, що піднімається, з вертикального положення в горизонтальне, враховуючи зменшення площі штокової порожнини циліндра на величину площі штока визначаємо потрібне плече домкрата при повністю висуненому штоку домкрата.

Тиск в гідравлічній системі  $p_1$  при підйомі і  $p_2$  при опусканні визначається або тиском насоса, або початковим тиском гідроаккумулятора.

Момент системи, що піднімається:

$$M(\phi) = m \cdot g \cdot r_m \cdot \cos(\Theta + \phi), \quad (1)$$

де  $m$  – приведена маса системи, що піднімається;

$$r_m = \sqrt{hm^2 + l_2^2} \text{ – радіус центру мас;}$$

$$\Theta = \arctg\left(\frac{hm}{l_2}\right) \text{ – кут нахилу радіусу до осі } x.$$

На рис. 2 приведений графік зміни моменту від системи, що піднімається, в процесі підйому.

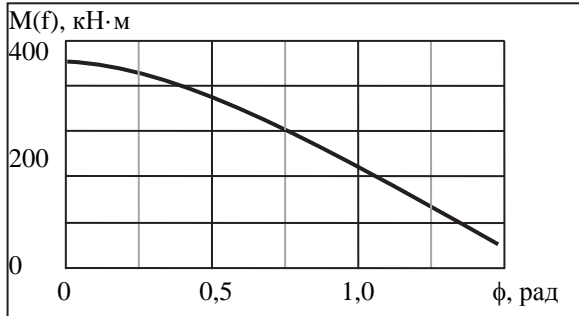


Рис. 2. Зміна моменту від системи, що піднімається

Нехай точка  $C$  кріплення домкрата до стріли лежить на відрізьку  $A$  осі  $x$ , показаний на рис. 3.

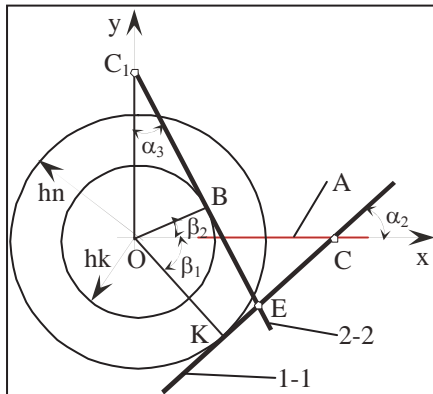


Рис. 3. Схема визначення положення домкрата

Знаходимо площу поршня  $f_1 = 0,018 \text{ м}^2$ . За статистикою площа штокової порожнини домкрата  $f_2 = (0,78 - 0,82) \cdot f_1$ . Потрібні плечі домкрата на початку  $hn$  і кінці  $hk$  підйому:

$$hn = \frac{Mn}{p_1 \cdot f_1}; \quad hk = \frac{Mk}{p_2 \cdot f_2}. \quad (2)$$

Для того, щоб домкрат на початку підйому мав плече  $hn$  його вісь повинна лежати на прямій, дотичній кола радіусу  $hn$ . Рівняння дотичної до кола має вигляд:

$$x \cdot \cos(\beta_1) + y \cdot \sin(\beta_1) = hn, \quad (3)$$

де  $\beta_1$  – кут нахилу плеча домкрата до осі  $x$ .

З рівняння відрізьку  $C_1O$ :  $y = 0$ , координати точки  $C$  перетину прямої 1-1 з віссю  $x$  (точка кріплення дом-

крата до стріли) можуть бути визначені у вигляді:

$$\beta_1(\alpha_2) = -\frac{\pi}{2} + \alpha_2; \quad x_C(\alpha_2) = \frac{hn}{\cos(\beta_1(\alpha_2))}; \quad y_C = 0. \quad (4)$$

Графік залежності положення точки кріплення штока домкрата до стріли ( $x_C$ ) від кута установки домкрата  $\alpha_2$  показаний на рис. 4.

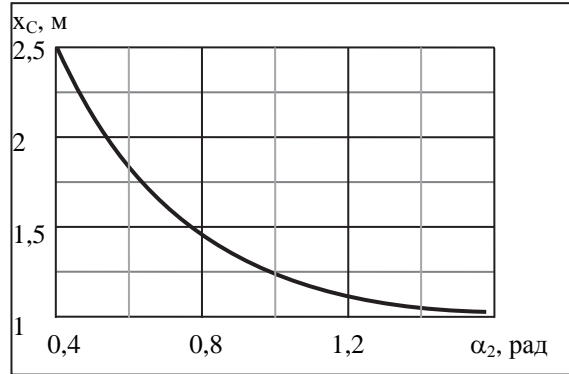


Рис. 4. Залежність положення точки кріплення штока домкрата до стріли від кута установки домкрата

Після повороту стріли на 90 градусів точка  $C$  переміститься в точку  $C_1$ . Відрізок  $OC_1$  дорівнює відрізьку  $OC$ . Координати точки  $C_1$  мають вигляд:

$$x_{C1} = 0, \quad y_{C1}(\alpha_2) = x_C(\alpha_2). \quad (5)$$

Кут між віссю  $x$  і плечем домкрата у вертикальному положенні залежно від кута нахилу домкрата буде дорівнювати:

$$\beta_2(\alpha_2) = \arcsin\left(\frac{hk}{x_C(\alpha_2)}\right). \quad (6)$$

Рівняння прямої 2-2 має вигляд

$$x \cdot \cos \beta_2(\alpha_2) + y \cdot \sin \beta_2(\alpha_2) = hk. \quad (7)$$

Щоб домкрат в піднятому положенні стріли мав плече  $hk$  необхідно забезпечити збіг його осі з прямою 2-2. Точка перетину прямих 1-1 і 2-2 є точкою кріплення домкрата до рами агрегату.

Для знаходження точки  $E$  перетину прямих необхідно вирішити систему рівнянь:

$$\begin{aligned} x \cdot \cos \beta_1(\alpha_2) + y \cdot \sin \beta_1(\alpha_2) &= hn; \\ x \cdot \cos \beta_2(\alpha_2) + y \cdot \sin \beta_2(\alpha_2) &= hk. \end{aligned} \quad (8)$$

Тоді координати точки  $E$ :

$$\begin{aligned} x_E(\alpha_2) &= \frac{hn \cdot \sin \beta_2(\alpha_2) - hk \cdot \sin \beta_1(\alpha_2)}{\cos \beta_1(\alpha_2) \cdot \sin \beta_2(\alpha_2) - \cos \beta_2(\alpha_2) \cdot \sin \beta_1(\alpha_2)}; \\ y_E(\alpha_2) &= \frac{hn \cdot \cos \beta_2(\alpha_2) - hk \cdot \cos \beta_1(\alpha_2)}{\cos \beta_2(\alpha_2) \cdot \sin \beta_1(\alpha_2) - \cos \beta_1(\alpha_2) \cdot \sin \beta_2(\alpha_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Графік залежності положення точки кріплення домкрата до рами ( $x_E, y_E$ ) від кута установки домкрата  $\alpha_2$  показаний на рис. 5.

Для вибору положення точок кріплення домкрата до стріли і рами агрегату потрібно задати кут  $\alpha_2$ , що відповідає потрібному його положенню.

Мінімальна відстань між точками кріплення домкрата у втягнутому положенні  $E$  і  $C$ :

$$I_{EC}(\alpha_2) = \sqrt{(x_C(\alpha_2) - x_E(\alpha_2))^2 + (y_C(\alpha_2) - y_E(\alpha_2))^2}. \quad (10)$$

Максимальна відстань між точками кріплення домкрата у висуненому положенні **E** і **C<sub>1</sub>**:

$$I_{EC1}(\alpha_2) = \sqrt{(x_{C1}(\alpha_2) - x_E(\alpha_2))^2 + (y_{C1}(\alpha_2) - y_E(\alpha_2))^2}. \quad (11)$$

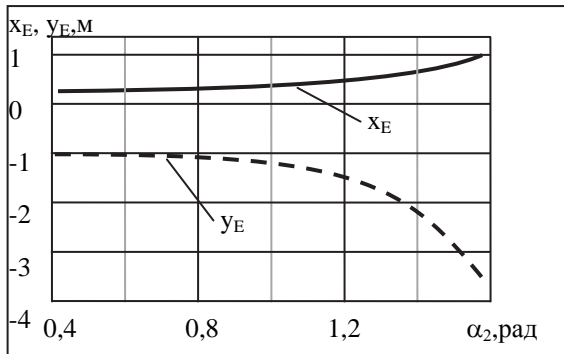


Рис. 5. Залежність координат кріплення циліндра домкрата до рами від кута установки домкрата

Хід домкрата визначається, як різниця між довжиною висуненого домкрата і його довжиною в початковому положенні:

$$I_D(\alpha_2) = I_{EC1}(\alpha_2) - I_{EC}(\alpha_2). \quad (12)$$

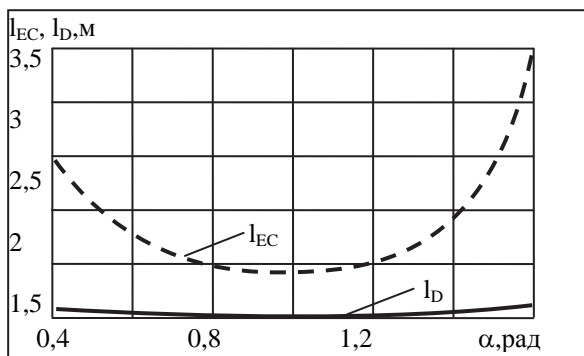


Рис. 6. Залежність ходу  $I_D$  і відстані між точками кріплення  $I_{EC}$  від кута установки домкрата

З практики відомо, що відношення ходу одноступеневого домкрата до його установочної довжини складає 0,6 – 0,8. Прийемо для нашого випадку це співвідношення рівним 0,67, що відповідає куту  $\alpha_2$  рівному 1. При заданому куті  $\alpha_2$ , визначаємо координати вузлів кріплення  $x_E$ ,  $y_E$ , та  $x_C$ ,  $y_C$ . Методика визначення ходу домкрата та вибору домкрата за критерієм мінімальної маси розглядається окремо.

## Висновки

1. Запропонована методика дозволяє вибрати місце положення домкрата підйому стріли виходячи з умови забезпечення підйому і опускання стріли з вантажем.

2. Методика забезпечує визначення геометричних, кінематичних і силових параметрів домкрата.

## Список літератури

1. *Гидропривод тяжелых грузоподъемных и самоходных агрегатов* / В.И. Мелик-Гайказов, Ю.П. Подгорный, М.Ф. Самусенко, П.П. Фалалеев. – М.: Машиностроение, 1968. – 264 с.
2. *Богданович Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств* / Т.М. Башта. – М.: Оборонгиз, 1961. – 476 с.
3. *Богданович Л.Б. Гидравлические приводы в машинах* / Л.Б. Богданович. – М-К: Машигиз, 1986. – 222 с.
4. *Маликов В.Г. Наземное оборудование ракет* / В.Г. Маликов, С.Ф. Комисарик, А.М. Коротков. – М.: Воениздат, 1971. – 303 с.
5. *Вооружение и техника: справочн.* – М.: Воениздат, 1984. – 376 с.
6. *Бронштейн И.Я. Справочник по математике* / И.Я. Бронштейн, К.А. Семендяев. – ОГИЗ-Гостехиздат, 1948. – 556 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук. співробітник С.В. Герасимов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ТОЧЕК КРЕПЛЕНИЯ ДОМКРАТА К СТРЕЛЕ И РАМЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО АГРЕГАТА

В.Ф. Греков, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

*В статье показан подход к определению оптимального положения и размеров домкрата в системе подъема стрелы с грузом. Найдены аналитические зависимости, которые позволяют при проектировании системы подъема стрелы проводить выбор параметров ее элементов. Приведенная разработанная авторами методика выбора положения точек крепления на стреле и на раме агрегата домкрата, позволяет проводить оптимизацию основных характеристик домкрата при обеспечении его малого диаметра, хода и массы.*

**Ключевые слова:** система подъема стрелы, домкрат, стрела, рама, агрегат.

## THE METHOD OF SELECTIONS THE POINTS OF THE JACK ATTACHMENT TO THE BOOM AND FRAME OF THE LOAD LIFTING UNIT

V. Grekov, A. Pjankov, Yu. Tkachenko

*The approach to definition of dimensions and the optimal position of the jack attachment points to the boom and frame in the lifting system with the load is shown in the article. Analytical dependencies are found that allow choosing the parameters of its elements when designing the boom lifting system. The select position method of the jack attachment points on boom and frame assembly developed by authors allows optimizing the main characteristics - a small stroke, diameter and mass of the jack.*

**Keywords:** the boom lifting system, jack, frame, load lifting unit.