Научная статья

Original article

УДК 623

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОГО И ДЕМПФИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ ШПУ (ШАХТНАЯ ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА)

CALCULATION OF PARAMETERS OF ELASTIC AND DAMPING ELEMENTS OF THE VERTICAL SHOCK ABSORPTION SYSTEM OF THE SHPU (MINE LAUNCHER)

Сибилева Александра Алексеевна, Студентка БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (5 курс) Россия, г. Санкт-Петербург

Sibileva Alexandra Alekseevna, sasha.reznikova@icloud.com

Аннотация. Расчет параметров вертикальной системы амортизации шахтной пусковой установки. В качестве упруго-демпфирующих элементов вертикальной системы амортизации рассматривается гидропневматический амортизатор. В результате был получен объем азота, обеспечивающий суммарную рабочую характеристику упругих элементов. А для обеспечения демпфирования был выбран безынерционный клапан тарельчатого типа и для него определена площадь дроссельного отверстия

Шахтная пусковая установка — стационарная ракетная пусковая установка в шахтном сооружении, находящемся в грунте и предназначенная для размещения ракеты с соблюдением требований температурно-

влажностного режима и поддержания её в течение длительного времени в готовности к пуску.

Annotation. Calculation of the parameters of the vertical shock absorption system of the mine launcher. A hydropneumatic shock absorber is considered as the elastic-damping elements of the vertical shock absorption system. As a result, a volume of nitrogen was obtained that provides the total performance of the elastic elements. And to ensure damping, a non-inertia poppet-type valve was selected and the area of the throttle opening was determined for it

A mine launcher is a stationary rocket launcher in a mine structure located in the ground and designed to accommodate a rocket in compliance with the requirements of the temperature and humidity regime and maintain it for a long time in readiness for launch.

Ключевые слова: вертикальная система амортизации; рабочая характеристика; дроссельное отверстие, клапан.

Keywords: vertical shock absorption system; performance characteristics; throttle opening, valve.

1. Исходные данные для расчета

   Масса АО:

   M = 25000 кг

   Допустимая перегрузка при движении АО:

   Вверх $n_{\text{вв}} > 0{,}5$

   Вниз $n_{\text{вн}} < 3{,}1$

   Вбок $n_{\text{г}} < 2$

   Максимальные перемещения АО:

   Вверх $z_{\text{вв}} = 0{,}5$ м

   Вниз $z_{\text{вн}} = 0{,}3$ м

   Вбок $x = 0{,}3$ м

   Максимальные скорости перемещения АО:

   Вверх $12\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Вниз $7\frac{м}{с}$

По горизонту 2 м/с

2. Расчет параметров упругого элемента вертикальной системы амортизации

Принимаем предварительную суммарную рабочую характеристику (рис. 1):

$$A_0^+ = 1{,}2 * G = 1{,}2 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 = 2{,}94 * 10^5 \text{ Н}$$

$$A_1^+ = 1{,}5 * G = 1{,}5 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 = 3{,}67 * 10^5 \text{ Н}$$

$$A_0^- = 0{,}8 * G = 0{,}8 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 = 1{,}96 * 10^5 \text{ Н}$$

$$A_1^+ = 0{,}68 * G = 0{,}68 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 = 1{,}67 * 10^5 \text{ Н}$$

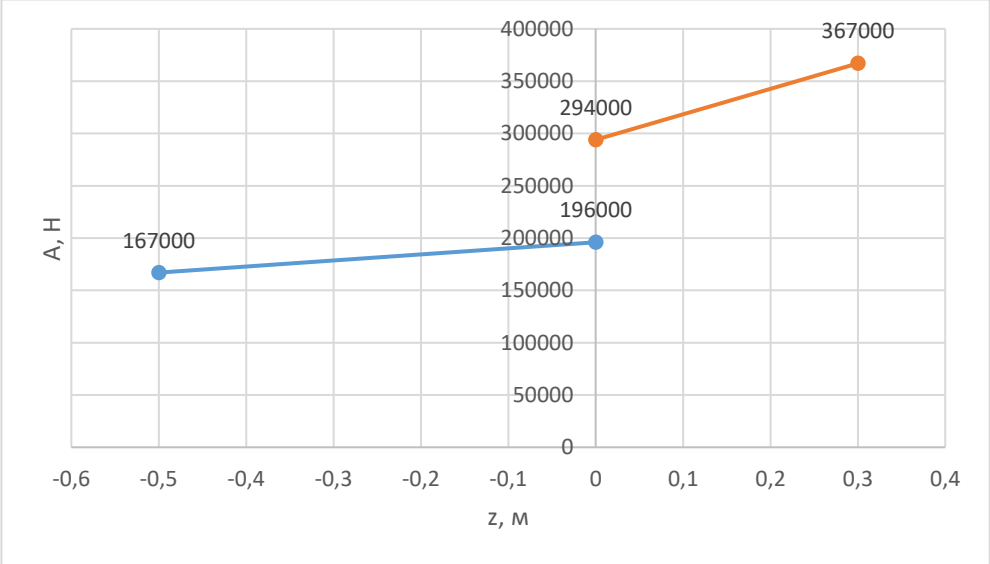

Рисунок 1 – Суммарная (предварительная) рабочая характеристика упругих элементов вертикальной системы подачи

Определяем рабочие площади гидропневматического амортизатора:

При перемещении АО вниз:

$$F_1 = \frac{A_0^+}{k_1 * k_{11} * p_0} = \frac{2{,}94 * 10^5}{4 * 2 * 10^7} = 0{,}003675 \text{ м}^2$$

При перемещении АО вверх:

$$F_2 = \frac{A_0^-}{k_1 * k_{11} * p_0} = \frac{1{,}96 * 10^5}{4 * 2 * 10^7} = 0{,}00245 \text{ м}^2$$

Определяем объем азота, необходимый для обеспечения предварительной суммарной рабочей характеристики:

$$V_0^+ = \frac{F_1 * z_{вн}}{1 - \left(\frac{A_1^+}{k_1 * k_{11} * F_1 * p_0}\right)^{\frac{-1}{n}}} = \frac{0{,}003675 * 0{,}3}{1 - (\frac{3{,}67 * 10^5}{4 * 2 * 36750})^{\frac{-1}{1{,}3}}} = 0{,}007 \text{ м}^3$$

$$V_0^- = \frac{F_2 * z_{вв}}{1 - \left(\frac{A_1^-}{k_1 * k_{11} * F_2 * p_0}\right)^{\frac{-1}{n}}} = \frac{-0{,}00245 * 0{,}5}{1 - (\frac{1{,}67 * 10^5}{4 * 2 * 24500})^{\frac{-1}{1{,}3}}} = 0{,}009 \text{ м}^3$$

Принимаем $V_0 = \max(V_0^+, V_0^-) = 0{,}009$ м$^3 = 9$ л

Проводим уточняющую суммарную рабочую характеристику:

$$A_1^+ = k_1 * k_{11} * F_1 * p_0 * (\frac{V_0}{V_0 - F_1 * z_{вн}})^n$$

$$= 4 * 2 * 0{,}003675 * 10^7 * (\frac{0{,}009}{0{,}009 - 0{,}003675 * 0{,}3})^{1{,}3}$$

$$= 3{,}48 * 10^5\ H$$

$$A_1^- = k_1 * k_{11} * F_2 * p_0 * (\frac{V_0}{V_0 - F_2 * z_{вв}})^n$$

$$= 4 * 2 * 0{,}00245 * 10^7 * (\frac{0{,}009}{0{,}009 + 0{,}00245 * 0{,}5})^{1{,}3}$$

$$= 1{,}66 * 10^5\ H$$

3. Расчет параметров демпфирующих элементов вертикальной системы амортизации

Принимаем следующие параметры допустимых перегрузок для АО при работе параметров демпфера:

$$n_{вн} = 3{,}0 < [n_{вн}] = 3{,}1$$

$$n_{вв} = 0{,}6 > [n_{вв}] = 0{,}5$$

Максимальное допустимое значение суммарной демпфирующей составляющей ГПА равно:

При перемещении вниз:

$$D_{max}^+ = n_{вн} * G - A_1^+ = 3{,}1 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 - 3{,}48 * 10^5 = 4{,}12 * 10^5 H$$

При перемещении вверх:

$$D_{max}^- = A_1^- - n_{вв} * G = 1{,}66 * 10^5 - 0{,}6 * 0{,}25 * 10^5 * 9{,}81 = 0{,}19 * 10^5 H$$

Определяем усилие каждого ГПА при движении АО вниз и вверх:

$$D_{i\,maz}^{+} = \frac{4{,}12 * 10^5}{4 * 2} = 5{,}15 * 10^4\ H$$

$$D_{i\,maz}^{-} = \frac{0{,}19 * 10^5}{4 * 2} = 0{,}24 * 10^4\ H$$

Определяем давление рабочей жидкости в демпфере:

$$p_{\text{вн}} = \frac{D_{i\,max}^{+}}{F_1} = \frac{5{,}15 * 10^4}{0{,}003675} = 1{,}401 * 10^7\ \text{Па}$$

$$p_{\text{вв}} = \frac{D_{i\,max}^{-}}{F_2} = \frac{0{,}24 * 10^4}{0{,}00245} = 0{,}097 * 10^7\ \text{Па}$$

Для безынерционного клапана тарельчатого типа давление рабочей жидкости в демпфере в процессе его работы будет находиться в следующих пределах:

$$p_{\text{вн}} = (7{,}06 \dots 8{,}29) * 10^6\ \text{Па}$$

$$p_{\text{вв}} = (5{,}71 \dots 6{,}33) * 10^6\ \text{Па}$$

$$D_{i\,max}^{+} = p_{\text{вн}} * F_1 = 0{,}003675 * (7{,}06 \dots 8{,}29) * 10^6 = (2{,}59 \dots 3{,}05) * 10^4 H$$

$$D_{i\,max}^{-} = p_{\text{вв}} * F_2 = 0{,}00245 * (5{,}71 \dots 6{,}33) * 10^6 = (1{,}39 \dots 1{,}55) * 10^4 H$$

Таким образом максимальная перегрузка будет равна:

$$n_{\text{вн}} = \frac{k_1 * k_{11} * D_{i\,max}^{+} - A_1^{+}}{G} = \frac{4 * 2 * 3{,}05 * 10^4 + 3{,}48 * 10^5}{0{,}25 * 9{,}81 * 10^5} = 2{,}42 < [n_{\text{вн}}] = 3{,}1$$

$$n_{\text{вв}} = \frac{A_1^{+} - k_1 * k_{11} * D_{i\,max}^{-}}{G} = \frac{1{,}66 * 10^5 - 0{,}24 * 10^4 * 2 * 4}{0{,}25 * 9{,}81 * 10^5} = 0{,}6 > [n_{\text{вв}}] = 0{,}5$$

Требование исходных данных по допустимым перегрузкам выполнено.

Определим площадь дроссельного отверстия для обеспечения перетекания рабочей жидкости из одной полости демпфера в другую, пока усилие демпфера не достигнет предельного значения:

$$f_{\text{др}}^{+} = \frac{F_1 * \dot{Z_{\text{вых}}}}{\mu} * \sqrt{\frac{\rho}{2p_{\text{вн}}}} = \frac{0{,}003675 * 1}{0{,}7} * \sqrt{\frac{0{,}85 * 10^3}{2 * 8{,}29 * 10^6}} = 3{,}76 * 10^{-5}\ \text{м}^2$$

$$f_{\text{др}}^{-} = \frac{F_2 * \dot{Z_{\text{вых}}}}{\mu} * \sqrt{\frac{\rho}{2p_{\text{вв}}}} = \frac{0{,}00245 * 1}{0{,}7} * \sqrt{\frac{0{,}85 * 10^3}{2 * 6{,}33 * 10^6}} = 2{,}87 * 10^{-5}\ \text{м}^2$$

Принимаем площадь дроссельного отверстия $f_{\text{др}} = 2{,}82 * 10^{-5}$, что соответствует диаметру, равному $d = 0{,}6 * 10^{-2}$м.

Коэффициент демпфирования равен

при $Z \geq 0$

$$K_{\text{д}}^{+} = \frac{F_1^3 * \rho}{2 * \mu^2 * f_{\text{др}}^2} = \frac{(0{,}003675)^3 * 0{,}85 * 10^3}{2 * 0{,}7^2 * (2{,}82 * 10^{-5})^2} = 5{,}4 * 10^4\ \frac{\text{нс}^2}{\text{м}^2}$$

$$K_{\text{д}}^{-} = \frac{F_2^3 * \rho}{2 * \mu^2 * f_{\text{др}}^2} = \frac{(0{,}00245)^3 * 0{,}85 * 10^3}{2 * 0{,}7^2 * (2{,}82 * 10^{-5})^2} = 1{,}6 * 10^4\ \frac{\text{нс}^2}{\text{м}^2}$$

Список литературы:

1. Руководство для конструкторов. Т. 7. Методические основы определения нагрузок изделий РКТ и нормирования прочности. – ЦНИИмаш, 2010. – 91 с.
2. Рабинович, Б.И. Введение в динамику ракет-носителей космических аппаратов / Б.И. Рабинович. – М.: Машиностроение, 1975. – 416 с.
3. Клейменов, Г.Б. Расчетно-экспериментальный метод создания динамических моделей ракетно-космических конструкций: автореф. дис. канд. техн. наук / Г.Б. Клейменов. – М., 2011. – 28 с.
4. Храмов Б.А. Основы теории и проектирования устройств и систем боевого железнодорожного ракетного комплекса: учебное пособие для вузов. СПб., БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2005 (текст + электронный ресурс)

List of literature:

1. Manual for designers. Vol. 7. Methodological foundations for determining the loads of RCT products and strength rationing. - TsNIIMash, 2010. - 91 p.

2. Rabinovich, B.I. Introduction to the dynamics of spacecraft launch vehicles / B.I. Rabinovich. - M.: Mashinostroenie, 1975– - 416 p.
3. Kleimenov, G.B. Computational and experimental method for creating dynamic models of rocket and space structures: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences / G.B. Kleimenov. - M., 2011. - 28 p.
4. Khramov B.A. Fundamentals of theory and design of devices and systems of the combat railway missile complex: a textbook for universities. St. Petersburg, BSTU "VOENMEH", 2005 (text + electronic resource)

© Сибилева А.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №2/2022.

Для цитирования: Сибилева А.А. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОГО И ДЕМПФИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ ШПУ (ШАХТНАЯ ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА)// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №2/2022.