

УДК 004.942

А.А.Айкеева¹, Б.А.Жаутиков², Ф.Б.Жаутиков¹, П.А.Мухтарова¹

¹Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова;

²Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова

(E-mail: aikееva@mail.ru)

Исследование нагрузок на скип шахтной и карьерной электромагнитной подъемной установки

Статья посвящена исследованию нагрузок на скип электромагнитной подъемной установки, которое проводилось в соответствии с методами расчета тонкостенных конструкций. Для определения оптимальных параметров скипа был проведен анализ влияния технологических факторов на несущую способность. Конструкция работоспособна с точки зрения прочности, если во всех заданных условиях эксплуатации она удовлетворяет принятым при проектировании нормам прочности. Проведен ряд расчетов действия различных усилий на скип. Были определены критические напряжения при заданной толщине стенки скипа.

Ключевые слова: электромагнитная подъемная установка, скип, осевая сила, разрушающая сила, шахтная и карьерная установка.

Оптимизация конструкции скипов шахтных и карьерных электромагнитных подъемных установок — это реальный путь снижения их металлоемкости. Это можно учесть на основе программы ANSYS. Снижение металлоемкости ведет к значительной экономии как материальных затрат на изготовление и монтаж установки, так и эксплуатационных затрат электроэнергии, потребляемой электромагнитами, поворотными гидродомкратами, на износ направляющих устройств [1].

Одной из основных задач механики подъемных установок является определение усилий в элементах конструкций скипов шахтных и карьерных электромагнитных подъемных установок в конкретной технологической обстановке. Поскольку силовое нагружение конструкций скипов шахтных и карьерных электромагнитных подъемных установок происходит в условиях их взаимодействия с загружаемой и перемещаемой горной массой, величины усилий определяются не только проявлениями внешнего давления, но и параметрами конструкций подъемных сосудов. Это жесткость на изгиб, сжатие и кручение, условия контакта с горной массой, наличие и расположение узлов податливости, их характеристика и т.д.

Аналитическое исследование конструкций скипов электромагнитных подъемных установок требует провести ряд расчетов действия различных усилий на скип.

При расчетах цилиндрических оболочек под действием осевой силы критические напряжения и критическая осевая сила определяются по формулам

$$\sigma_{KP} = kE\delta/R, T_{KP} = 2\pi kE\delta^2. \quad (1)$$

Коэффициент устойчивости k для качественно изготовленных оболочек определяется (при $R/\delta = 100 \dots 1500$) с помощью выражения

$$k = \frac{1}{\pi} \sqrt[8]{\left(\frac{100\delta}{R}\right)^3}. \quad (2)$$

Очень короткий тонкостенный цилиндр, длина которого $l \leq 1,22 \sqrt{R\delta}$ для опертых и $l \leq 2,5 \sqrt{R\delta}$ для заземленных торцов, рассчитывается по формуле для широкой пластинки

$$\delta_{KP} = kE^2 / l^2, \quad (3)$$

где $k = 0,9$ для опертых и $k = 3,6$ для заземленных торцевых кромок [1].

На оболочку кузова скипа электромагнитной подъемной установки действуют осевая сила T и изгибающий момент M . Расчет применим также в случае, когда на конструкцию действует только осевая сила.

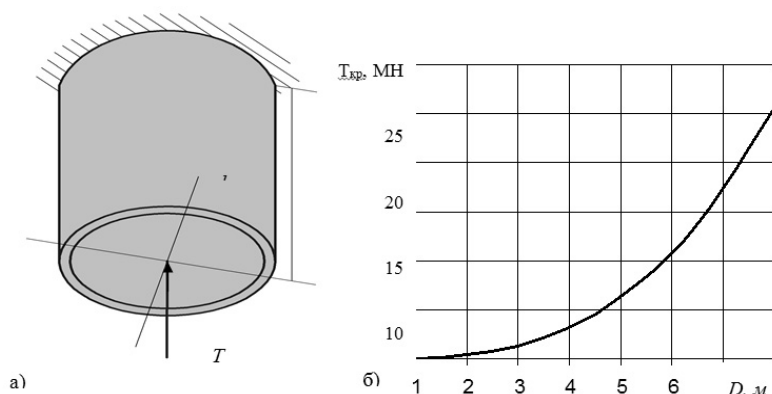
1. Определим эквивалентную осевую силу:

$$T_{\text{ЭКВ}} = T + 2M/R. \quad (4)$$

2. При $M = 0$ $\beta = 1$; при $T = 0$ $\beta = 1,25$

$$T_{KP} = \beta T_{\text{ЭКВ}}. \quad (5)$$

3. Исходя из значения избыточного давления, необходимого для работы скипа каждого диаметра, определим необходимое значение разрушающей нагрузки в соответствии с рисунком 1.



а — расчетная схема воздействия осевой силы; б — зависимость критической осевой силы для различных диаметров цилиндрического скипа

Рисунок 1. Результаты расчета критической осевой силы

Определение значения критической разрушающей осевой силы позволит предупредить разрушение (повреждение) корпуса скипа при его упоре в крайнем верхнем положении в стволе в момент разгрузки.

4. Определим толщину стенки скипа:

$$\delta = 0,36 \left(\frac{T_{KP} \sqrt[8]{R^3}}{cE} \right)^{0,42}. \quad (6)$$

Толщина скипа определена из условия предупреждения критической осевой силы, которой подвержен скип. Зависимость диаметра скипа от минимально допустимой толщины стенки скипа показана на рисунке 2.

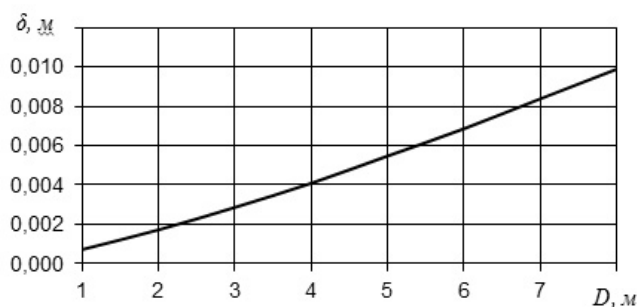


Рисунок 2. Минимально допустимая толщина стенки скипа в зависимости от влияния критической осевой силы

5. По окончательно принятой толщине стенки скипа определим критические напряжения:

$$\sigma_{кр} = T_{кр} / 2\pi R\delta . \tag{7}$$

Зависимость диаметра скипа от критических напряжений при воздействии осевых сил показана на рисунке 3.

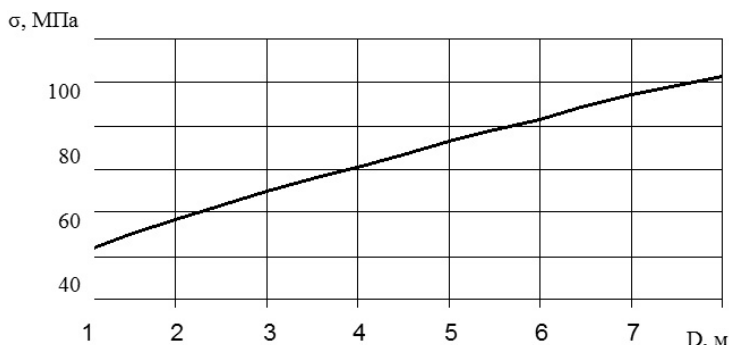


Рисунок 3. Величина критических напряжений в зависимости от воздействия осевых сил

Далее проведем расчет воздействия поперечных сил на стенку скипа и действия локального давления на цилиндрические скипы.

Поперечные силы на стенку скипа появляются при динамическом взаимодействии вертикальной стенки скипа с направляющими устройствами, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга на стенках вертикального шахтного ствола или наклонного карьерного путепровода.

При нагружении консольной цилиндрической оболочки поперечной силой Q, приложенной к абсолютно жесткому кольцу в верхней части скипа, напряженное состояние определяется нормальными и касательными напряжениями:

$$\delta_1 = \frac{Q_x}{\pi R^2 \delta} \cos \alpha ; \delta_2 = 0 ; \tau = \frac{Q}{\pi R \delta} \sin \alpha , \tag{8}$$

критическая поперечная сила:

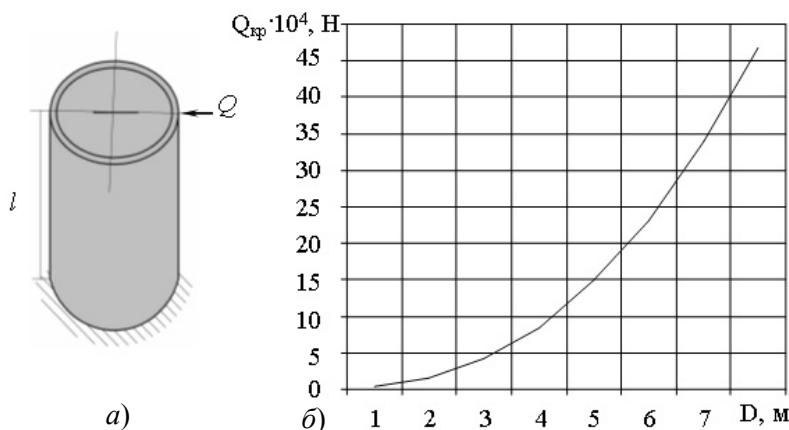
$$Q_{кр} = \pi R \delta \tau_{кр} . \tag{9}$$

Разрушающая осевая сила при нагружении оболочки давлением только в окружном направлении определяется по формуле

$$T_{кр} = 2\pi R \delta \sigma_{кр} , \tag{10}$$

где $k_p = f(p, R/\delta)$ — коэффициент; $p = p/E - (R/\delta)^2$ — безразмерный параметр давления; p — величина нормального давления [1].

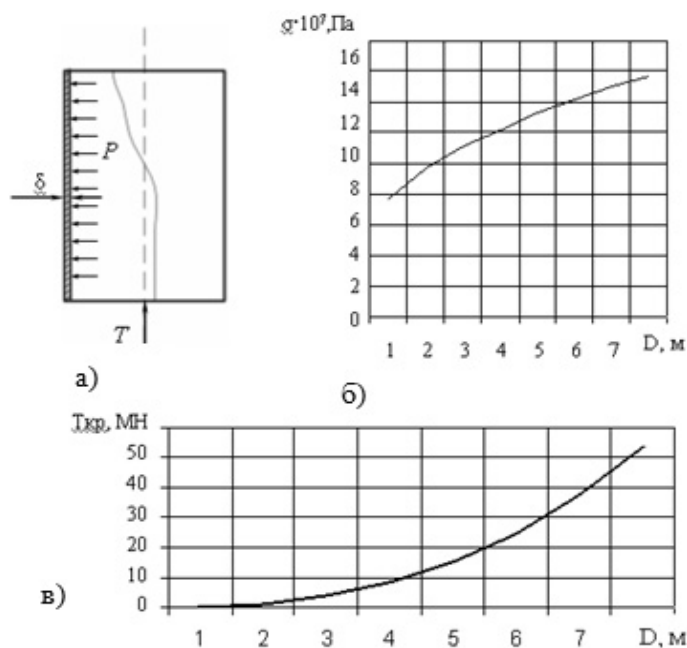
Полученная критическая поперечная сила показана на рисунке 4.



a — расчетная схема воздействия поперечной силы; б — зависимость критической поперечной силы для различных диаметров скипа

Рисунок 4. Критическая поперечная сила

Разрушающая осевая сила при нагружении оболочки давлением показана на рисунке 5.



a — расчетная схема действия осевого сжатия и внутреннего давления;
б — максимальные напряжения; *в* — критическая сила

Рисунок 5. Расчет напряжения и критической силы в зависимости от действия осевого сжатия и внутреннего давления

$$p_{кр} = 0,92 \frac{E\delta^{5/2}}{a_1 R^{3/2}} \alpha . \tag{11}$$

Т а б л и ц а

Критическое внешнее давление $p_{кр} \cdot 10^3, \text{Па}$

$p_{кр} \cdot 10^4, \text{Па}$	$R, \text{м}$							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
В середине скипа	3,38	11,2	22,2	36,1	53,5	71,4	93,4	115
Около торца	6,57	20,6	39,8	63,2	93,6	125	164	202
Погонная нагрузка в середине скипа	0,15	0,49	0,99	1,62	2,4	3,2	4,2	5,19

Как видно из рисунка 6, зависимость критической разрушающей силы от радиуса скипа имеет практически линейный характер.

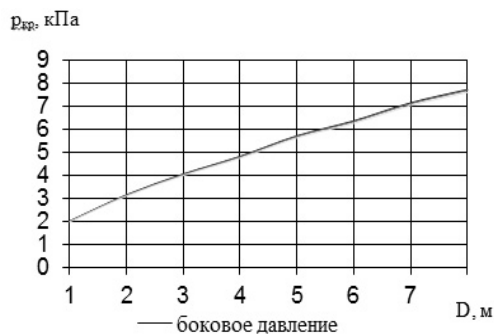


Рисунок 6. Критические внешние давления

Значения критического внешнего давления, приведенные в таблице, позволяют уточнить необходимую толщину стенки скипа в зависимости от различных факторов — бокового давления, всестороннего давления, а также комбинации нагрузок — всестороннего давления и осевого сжатия.

Критические внешние давления по величине меньше избыточного давления на скип.

Графики на рисунке 6 показывают зависимость критического бокового давления, критического всестороннего давления, зависимости критического всестороннего давления и осевого сжатия от диаметра скипа. Функции имеют практически линейный характер. Все критические давления намного меньше избыточного давления. Полученные конкретные значения критических давлений также можно сравнивать с реальным механическим состоянием системы «подъемный сосуд — шахтный ствол (карьерный путепровод)» для определения ее работоспособности и надежности.

График на рисунке 7 показывает интенсивность возрастания критической разрушающей силы при увеличении диаметра подъемного сосуда.

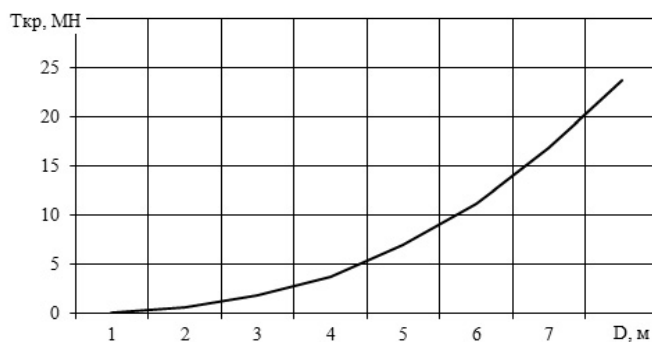


Рисунок 7. Величина критической разрушающей силы

Анализ графика показывает, что зависимость критической разрушающей силы от диаметра скипа нелинейная и имеет характер, близкий к квадратичной зависимости. Полученные конкретные значения критической разрушающей силы можно сравнивать с реальным состоянием системы «подъемный сосуд — электромагнит» для определения ее работоспособности и надежности.

Данная статья написана на основании результатов исследований, выполняемых в рамках грантового финансирования МОН РК по подприоритету «Технологии разработки полезных ископаемых» по теме «Обоснование и разработка энергосберегающей технологии выемки горной массы путем создания электромагнитной подъемной установки», по приоритету «Энергетика и машиностроение» по теме «Разработка системы автоматического управления и комплексной защиты энергосберегающей электромагнитной подъемной установки».

Список литературы

- 1 Лизин В.Г., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. — М.: Машиностроение, 1976. — 408 с.

А.А.Айкеева, Б.А.Жаутиков, Ф.Б.Жаутиков, П.А.Мухтарова

Шахталық және карьерлік электромагниттік көтергіш қондырғының скипіне түсетін жүктемелерді зерттеу

Мақала жұқа қабырғалы конструкцияларды есептеу әдістерімен сәйкес жүргізілген электромагниттік көтергіш қондырғының скипіне түсетін жүктемелерді зерттеуге арналған. Скиптің тиімді параметрлерін анықтау үшін оның көтергіш қабілетіне технологиялық факторлардың әсері талданған. Конструкция беріктігінен жұмысқа қабілетті, егер барлық берілген эксплуатация шарттарында ол жобалауда бекітілген беріктік нормаларына сай болса. Скипқа әсер ететін әр түрлі күштердің бірқатар есептері келтірілген. Скиптің берілген қабырға қалыңдығы үшін сыни кернеулері анықталған.

A.A.Aikeyeva, B.A.Zhautikov, F.B.Zhautikov, P.A.Mukhtarova

The research loads on the skip mine and quarry electromagnetic lifting installation

The article investigates the loads on the skip the electromagnetic lifting installation, which was carried out in accordance with the methods of calculation of thin-walled structures. To determine the optimal parameters of the skip was to analyze the effect of technological factors on the bearing capacity. The design is efficient in terms of strength, if all specified operating conditions it meets accepted standards for the design strength. Carried out a series of calculations on the effect of different efforts to the skip. The defined critical stresses for a given wall thickness skip.

References

- 1 Lizin V.G., Pyatkin V.A. *Design of thin-walled structures*, Moscow: Mashinostroyeniye, 1976, 408 p.