

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛОВОЙ ЭЛАСТИЧНОЙ КАМЕРЫ ПНЕВМОДОМКРАТА



М.И. Соколовский,  
член-корреспондент РАН,  
генеральный конструктор  
и генеральный директор  
ОАО НПО «Искра»



Г.И. Шайдурова,  
доктор технических наук,  
главный химик,  
ОАО НПО «Искра»



Ю.Б. Нельзин,  
кандидат технических наук,  
ведущий конструктор,  
ОАО НПО «Искра»

Приводятся данные экспериментальных исследований квадратной силовой эластичной камеры (СЭК) пневмодомкрата, которая является исполнительным органом по подъему груза или созданию распорной силы. В полость СЭК подается давление сжатым воздухом. На основании результатов испытаний квадратной СЭК с размерами 370×370×25 мм при максимально допустимом давлении показано, что рабочая характеристика (высота подъема – вес груза) является гиперболой. Полученные общее уравнение состояния СЭК в безразмерном виде и две безразмерные константы ( $q$ ,  $\bar{h}_{\max}$ ) полностью определяют рабочую характеристику квадратной СЭК любого размера. Результаты позволяют проектировать квадратные СЭК с необходимой грузоподъемностью и высотой подъема.

В современных условиях развития техники, наличия множества отраслей народного хозяйства и реализации новых технологий при активном взаимодействии человека с недрами природы наблюдается тенденция к увеличению аварий техногенного характера. Большую роль играет оснащенность специальных формирований необходимыми техническими средствами аварийно-спасательного назначения. Технические средства должны обеспечивать оперативность и эффектив-

ность их применения при ликвидации последствий аварий, связанных с экстренным высвобождением людей, техники и других грузов из труднодоступных мест при наличии узких зазоров, полостей и остропредметных завалов, где невозможно использование грузозахватных механизмов.

Опыт НПО «Искра», накопленный в процессе разработки ракетно-космической техники с методологией комплексного подхода для обеспечения задавае-

мых эксплуатационных параметров, позволил в кратчайшие сроки создать силовые эластомерные конструкции аварийно-спасательного назначения. Повышенная грузоподъемность (до 600 кН) пневмоподушек (силовых эластичных камер) при малых габаритах (толщина пакета 25 мм) и индивидуальная комплектация с баллонами высокого давления в целом (рис. 1, а) обеспечили выполнение требований по удобству применения как в чрезвычайных ситуациях при разборке завалов с целью извлечения людей, так и в технологических целях: для поднятия трубопроводов, авто- и железнодорожного транспорта, фиксации строительных конструкций, стенов и т.д. (рис. 1, б–е).

НПО «Искра» запатентованы технические решения при преимуществах конверсионных технологий от оборонного комплекса [2]. Реализация четырехкратного запаса прочности стала возможной на основании результатов исследований формы СЭК под давлением и нагрузочных характеристик: взаимосвязи величины груза, высоты подъема и внутреннего давления в полости камеры.

Силовая эластичная камера (СЭК) пневмодомкрата представляет собой полую пластину, армированную прочными кордовыми нитями во взаимно перпендикулярных направлениях и покрытую резиной (рис. 2, а). При подаче в полость СЭК давления воздуха увеличивается



а



б



в



г

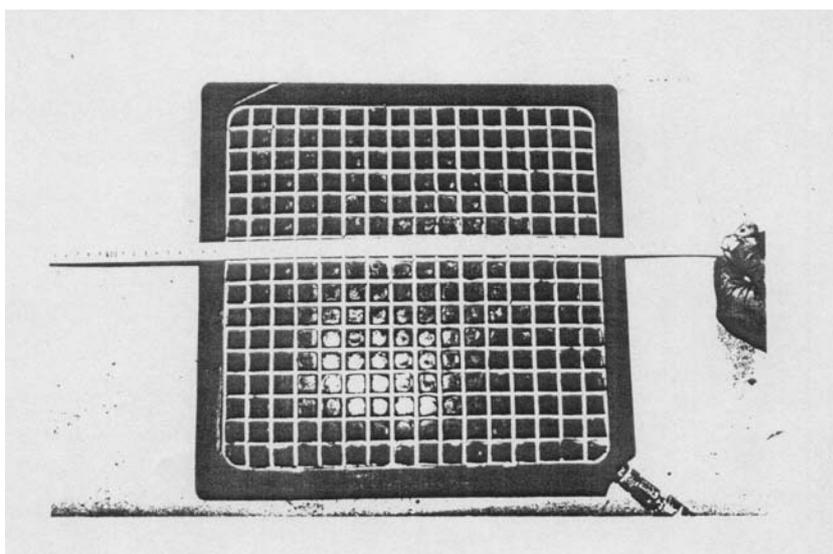


д



е

Рис. 1. Комплект пневмодомкрата и примеры его применения



а



б

Рис. 2. Общий вид СЭК: а – в начальном состоянии; б – при подаче внутреннего давления без груза

внутренний объем СЭК и совершается работа по подъему груза. Без груза СЭК принимает форму подушки (рис. 2, б). При этом в среднем поперечном сечении армирующие слои принимают форму, близкую к эллипсу. В зоне ребер образуется поверхность седлообразной формы.

Рекомендации по расчету рабочей характеристики мягких домкратов содержатся в работе [1] (с использованием плотно упакованных структур: сфер и кубов). Однако такой подход не позволяет с достаточной для практики точностью оп-

ределять рабочие характеристики СЭК подушечной формы.

Для получения рабочей характеристики СЭК с размерами 370×370×25 в НПО «Искра» был проведен ряд нагружений максимально допустимым внутренним давлением  $p_{\max} = 0,8$  МПа. СЭК помещалась между двумя параллельными плитами с предварительно установленным между ними зазором  $D$ . Одна из плит была связана с силоизмерителем для определения распорной силы, которая может рассматриваться как вес поднимаемого гру-

за  $G$ . Высота подъема груза  $H$ , соответствующая заданному зазору  $D$ , определялась исключением начальной толщины СЭК из величины зазора. Результаты эксперимента приведены в таблице.

данных не превышает 1 %.

Из уравнения (1) может быть получена зависимость веса груза от высоты подъема при максимально допустимом давлении. Нагрузочная кривая для давле-

Данные испытаний СЭК с размерами 370×370×25 мм

Зазор между плитами $D$ , мм	Высота подъема $H$ , мм	Распорная сила (вес груза) $G$ , кН
40	15	56,572
60	35	42,241
80	55	31,303
100	75	22,629
120	95	15,463
140	105	9,429
160	135	4,903
180	155	1,509

Экспериментальная зависимость аппроксимируется теоретической кривой – гиперболой:

$$(G + G_m)(H + H_m) = k_m. \quad (1)$$

Параметры  $G_m$ ,  $H_m$ ,  $k_m$  определяются методом наименьших квадратов с наилучшим приближением по параметру  $k_m$ . Параметры теоретической кривой испытанной СЭК:  $G_m = 46,413$  кН;  $H_m = 0,105$  м;  $k_m = 12,354$  кН·м.

Уравнение (1) вместе с экспериментальными данными графически представлено на рис. 3. Относительное отклонение параметра  $k_m$  от экспериментальных

данных  $p$ , отличающегося от максимального, может быть построена соответствующим изменением масштаба (отношение  $p/p_{\max}$ ) по оси ординат:

$$G = \frac{p}{p_{\max}} \left( \frac{k_m}{H + H_m} - G_m \right). \quad (2)$$

Если пренебречь растяжением нитей корда (в диапазоне рабочих давлений относительная деформация растяжения нитей не превышает 4 %), то при одинаковой высоте подъема площадь контакта СЭК с грузами различного веса составит одну и ту же величину, при этом давление в СЭК будет пропорционально весу груза. Следовательно, площадь контакта груза с поверхностью СЭК составит

$$F = \frac{G}{p}. \quad (3)$$

Таким образом, общее уравнение рабочей характеристики при произвольном давлении

$$(F + F_0)(H + H_0) = k, \quad (4)$$

где  $F_0 = \frac{G_m}{p_{\max}}$ ;  $k = \frac{k_m}{p_{\max}}$ ;  $H_0 = H_m$ .

Параметры уравнения (4) для исследованной СЭК имеют следующие значения:  $F_0 = 0,05802$  м<sup>2</sup>;  $H_0 = 0,1046$  м;  $k = 0,01544$  м<sup>3</sup>.

С помощью зависимостей (3, 4) определяются также предельные величины: грузоподъемность  $G_{\max}$  (при  $H = 0$ ,

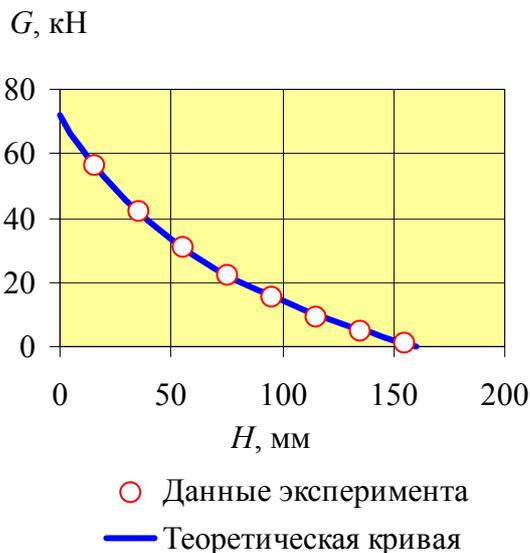


Рис. 3. Рабочая характеристика СЭК с размерами 370×370×25 мм

$p = p_{\max}$ ) и высота подъема  $H_{\max}$  (при  $G = 0$ ), которые для СЭК с размерами  $370 \times 370 \times 25$  мм составляют:

$$G_{\max} = 71,7181 \text{ кН}; H_{\max} = 0,1616 \text{ м.}$$

На основании выражений (3, 4) определяется зависимость высоты подъема груза  $H$  от давления  $p$  в СЭК (рис. 4).

Безразмерная постоянная  $q$  на основании результатов испытаний равна:

$$q = H/H_{\max} = 0,6472.$$

Графически уравнение (6) представлено на рис. 5.

С помощью уравнения (6) можно построить рабочую характеристику квадратной СЭК любого заданного размера.

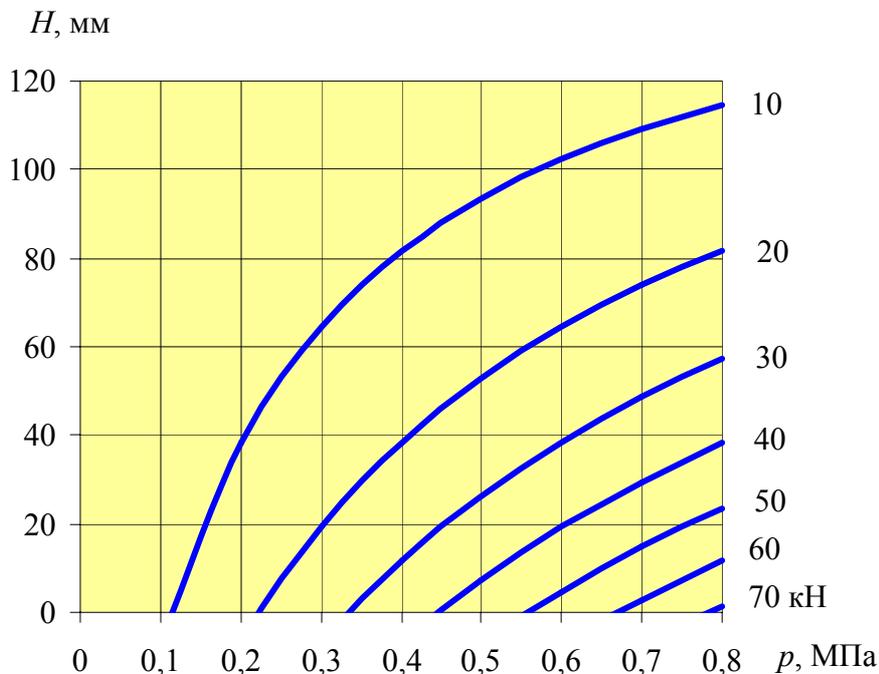


Рис. 4. Зависимость высоты подъема груза от давления для СЭК с размерами  $370 \times 370 \times 25$  мм

В общем случае параметры уравнения  $F_0, H_0, k$  для конкретной СЭК можно определить на основании замеров  $p_i, H_i$  при трех нагружениях ( $i = 1, 2, 3$ ) с подъемом груза известного веса.

Покажем, что для построения нагрузочной характеристики квадратной СЭК произвольного размера достаточно полученных выше результатов.

Из уравнения (4) следуют соотношения

$$\frac{F_0}{F_{\max}} = \frac{H_0}{H_{\max}} = q; k = q(1+q)F_{\max}H_{\max}, \quad (5)$$

которые позволяют записать уравнение (4) в безразмерном виде (независимо от конкретных размеров СЭК) с помощью лишь одной универсальной константы  $q$ :

$$(f+q)(h+q) = q(1+q), \quad (6)$$

где  $f = F/F_{\max}$  – относительная площадь контакта с грузом;  $h = H/H_{\max}$  – относительная высота подъема груза.

Учитывая геометрическое подобие квадратных СЭК, отношение  $H_{\max} (G = 0)$  к стороне квадрата  $a$  начальной поверхности внутренней полости не зависит от размеров СЭК.

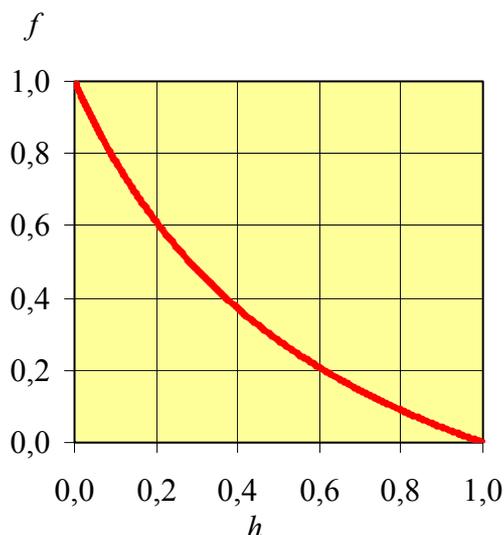


Рис. 5. Уравнение состояния квадратной СЭК в безразмерных координатах

Начальная площадь поверхности  $F_{\max}$  и сторона квадрата  $a$  внутренней полости испытанной СЭК составляют:

$$F_{\max} = \frac{G_{\max}}{p_{\max}} = 0,08965 \text{ м}^2; a = \sqrt{F_{\max}} = 0,2994 \text{ м.}$$

СЭК в соответствии с выражениями (3, 4) представлена на рис. 6.

В результате проведенных исследований были разработаны комплекты пневмодомкратов различной грузоподъемности ПДВ-1, ПДВ-2, ПДВ-4, ПДВ-5,

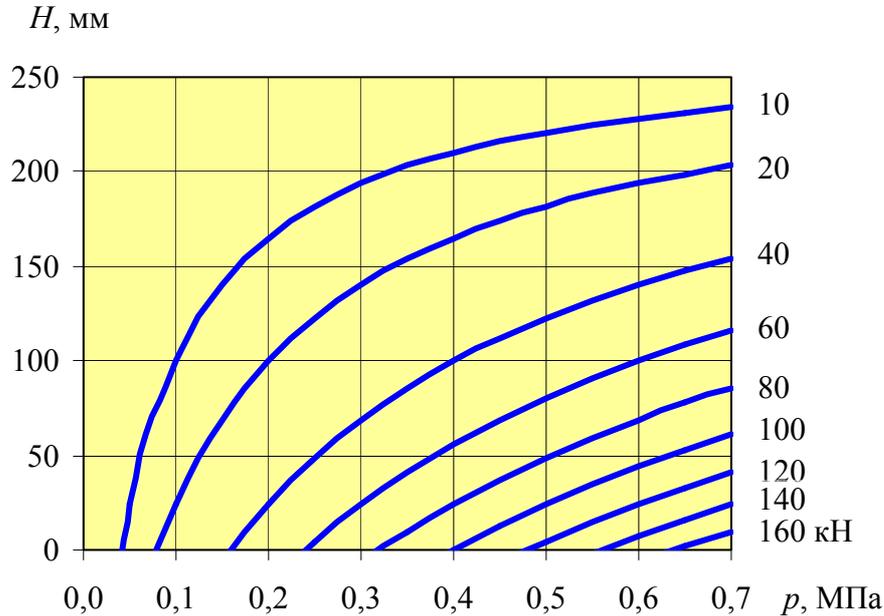


Рис. 6. Зависимость высоты подъема груза от давления проектируемой СЭК

Следовательно, отношение максимальной высоты подъема к стороне квадрата

$$\bar{h}_{\max} = \frac{H_{\max}}{a} = \frac{0,1616}{0,2994} = 0,5397.$$

В качестве примера определим проектные параметры СЭК с заданной стороной квадрата внутренней полости  $a = 0,5$  м и максимальным рабочим давлением  $p_{\max} = 0,7$  МПа (определяется из условий прочности).

Максимальная площадь поверхности внутренней полости  $F_{\max} = 0,25 \text{ м}^2$ .

Проектная грузоподъемность  $G_{\max} = p_{\max} \cdot F_{\max} = 175 \text{ кН}$ .

Ожидаемая максимальная высота подъема  $H_{\max} = \bar{h}_{\max} \cdot a = 0,2699 \text{ м}$ .

Параметры уравнения состояния (4) определяются из соотношений (5):

$$F_0 = 0,1618 \text{ м}^2; H_0 = 0,1747 \text{ м}; k = 0,07193 \text{ м}^3.$$

Высота подъема грузов проектируемой

ПДВ-6, которые являются сертифицированной продукцией и нашли широкое применение как в формированиях гражданской обороны (службы спасения), так и в народном хозяйстве (нефтегазовая промышленность, машиностроение, строительство).

### Выводы

Показано, что рабочая характеристика квадратной силовой эластичной камеры (СЭК) пневмодомкрата (высота подъема – вес груза) является гиперболой. Полученное общее уравнение состояния СЭК в безразмерном виде и две безразмерные константы ( $q, \bar{h}_{\max}$ ) полностью определяют рабочую характеристику квадратной СЭК любого размера. Результаты позволяют проектировать квадратные СЭК с необходимой грузоподъемностью и высотой подъема.

### Библиографический список

1. Горелик В.Б., Шальнев О.В. Основы проектирования эластомерных домкратов. Тематический обзор // Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. Сер. «Производство резинотехнических и асбестотехнических изделий». – Вып. 3, 4. – М., 1994.
2. Патент РФ 20865500 от 10.08.1997. Способ изготовления подъемной подушки эластичного домкрата.