

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОРЕЗИНОВЫХ ПОДЪЁМНИКОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ И ОБЛЕГЧЕНИЯ ТРУДА СПАСАТЕЛЕЙ

С.Е. Селиванов, профессор, д.т.н., ХНАДУ,
В.Г. Аветисян, начальник кафедры, УЦЗУ

Аннотация. Показаны особенности применения пневморезиновых подъемников (ПРП), получена зависимость высоты подъёма груза от веса поднимаемого груза, подаваемого давления сжатого воздуха и геометрических размеров ПРП.

Ключевые слова: пневморезиновый подъёмник, оболочка, мембрана, аварийно-спасательные работы, спасатели

Введение

При разрушении зданий и сооружений, происходящих как вследствие пожара, так и других причин, под обломками строительных конструкций могут оставаться живые люди (пострадавшие). Для их извлечения проводятся аварийно-спасательные работы (АСР), в ходе которых с целью сокращения времени на разборку завалов и извлечения из-под них пострадавших возникает необходимость применения средств механизации.

Основными требованиями, которым должны соответствовать такие средства, являются их производительность, универсальность и безопасность применения как для работающих с ними спасателей, так и для пострадавших.

Цель и постановка задачи

К средствам малой механизации, которые достаточно часто используют в ходе АСР, относятся и пневморезиновые подъёмники (ПРП), предназначенные для перемещения обломков строительных конструкций с целью извлечения из-под них людей. ПРП представляет собой оболочку, состоящую из нескольких слоёв бутил-каучуковой резины, армированной различными материалами. Для приведения в действие ПРП в него подаётся воздух под давлением. В результате этого он, изменяя свою геометрию, развивает подъёмную силу.

Основным параметром, определяющим тактические возможности ПРП, является высота подъёма груза, т.к. от неё зависят последующие действия

спасателей. При извлечении пострадавшего из-под обломков руководитель работ может принять одно из следующих решений: 1) поднять обломок на высоту, позволяющую сразу извлечь пострадавшего; 2) приподнять обломок на высоту, позволяющую завести стропу подъёмного крана; 3) применить дополнительные технические средства в виду невозможности приподнять обломок ПРП.

Техническая документация, прилагаемая к поступающим для оснащения аварийно-спасательных подразделений ПРП, содержит информацию о максимально возможных значениях высоты подъёма груза, имеющего максимальную массу при максимальном давлении. Однако в реальной ситуации часто возникает необходимость определения возможной высоты подъёма груза при других соотношениях массы груза, давления сжатого воздуха и размеров ПРП, т.е. возникает необходимость определения зависимости вида

$$H = f(G, q, a) \quad (1)$$

где H – высота подъёма груза ПРП, м; G – масса поднимаемого груза, кг; q – давление воздуха подаваемого внутрь оболочки, Па; a – размер ПРП, м.

Знание промежуточных значений приведенного соотношения позволит руководителю работ принять правильное решение перед началом работы с ПРП, что в конечном итоге позволит значительно сократить время выполнения операции по извлечению пострадавших из завалов, а в некоторых случаях и сохранить им жизнь. Таким образом,

задача определения зависимости (1) является актуальной.

Вывод зависимости

Подходы к решению данной задачи были найдены при помощи теории изгиба пластинок [1]. В самом деле, можно представить оболочку ПРП в виде тонкой пластинки. Отличие в рассматриваемом случае состоит в нагрузках, испытываемых ПРП. В процессе подъёма груза ПРП на его оболочку действуют внутренняя равномерно распределённая нагрузка q – давление сжатого воздуха подаваемого в оболочку, и внешняя нагрузка G – вес поднимаемого груза. Груз, поднимаемый ПРП, своим весом будет препятствовать внутренней нагрузке. При этом в местах соприкосновения оболочки с поднимаемым грузом и опорной поверхностью появляется пятно контакта размерами $2b \times 2b$. Величина прогиба мембраны в этом случае будет отличаться от рассмотренного ранее случая. Для её определения необходимо учитывать работу, производимую нагрузкой q по перемещению груза. Прогибы и моменты и в этом случае будут симметричны относительно координатных осей. На рис. 1 показана схема нагружения ПРП.

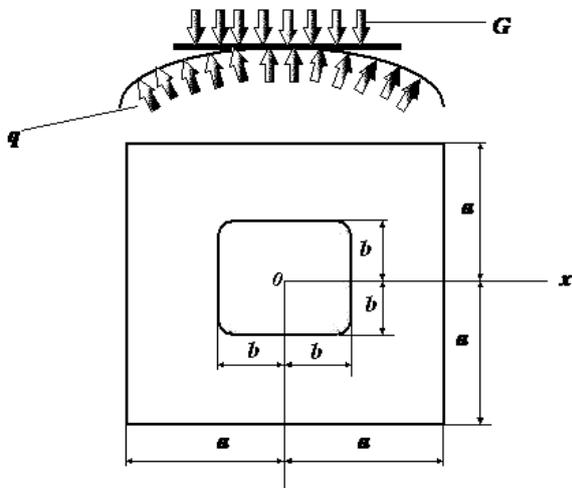


Рис.1. Схема нагружения ПРП

В этом случае выражение работы, производимой по перемещению груза, примет вид

$$4q \left(\int_0^a \int_0^a \cos \frac{\pi x}{2a} \cdot \cos \frac{\pi y}{2a} dx dy - \int_0^b \int_0^b \cos \frac{\pi x}{2a} \times \cos \frac{\pi y}{2a} dx dy \right) = 16q \frac{a^2}{\pi^2} \left(1 - \sin^2 \frac{\pi b}{2a} \right). \quad (2)$$

Уравнение перемещения срединной поверхности мембраны запишется в виде

$$\frac{\partial v}{\partial w_0} = \frac{Eh}{7,5} \left(\frac{5\pi^4}{64} \frac{4w_0}{a^2} - \frac{17\pi^2}{6} 2 \frac{w_0 c}{a} \right) = \frac{Eh}{7,5} \left(\frac{20\pi^4}{64a^2} w_0 - \frac{34\pi^2}{6} 0,147 \frac{w_0^3}{a^2} \right) \approx \frac{Ehw_0^3}{a^2}. \quad (3)$$

По условию равновесия

$$16q \frac{a^2}{\pi^2} \left(1 - \sin^2 \frac{\pi b}{2a} \right) = \frac{Ehw_0^3}{a^2}. \quad (4)$$

Откуда

$$w_0 = 0,52a \sqrt[3]{\frac{qa \left(1 - \sin^2 \frac{\pi b}{2a} \right)}{Eh}}, \quad (5)$$

где w_0 – прогиб мембраны в центре зоны контакта, м; q – давление сжатого воздуха в ПРП, Па; E – модуль упругости материала оболочки ПРП, Па; h – толщина оболочки ПРП, м.

Таким образом, получен прогиб мембраны в центре зоны контакта, на которую с одной стороны действует равномерно распределённая нагрузка q в виде давления сжатого воздуха, а с другой – вес поднимаемого груза G . Учитывая, что в действительности пятно контакта не симметрично, для определения полной высоты подъёма груза целесообразно воспользоваться усреднённым значением прогиба мембраны в зоне контакта, которое можно определить из выражения

$$w(x, y) = w_0 \cos \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b}. \quad (6)$$

То есть

$$\bar{w} = \frac{1}{b^2} w_0 \int_0^b \cos \frac{\pi x}{2a} dx \int_0^b \cos \frac{\pi y}{2a} dy = w_0 \left(\frac{2a}{\pi b} \sin \frac{\pi b}{2a} \right)^2, \quad (7)$$

Тогда высота подъёма груза данной массы ПРП определится из выражения

$$H = 2\bar{w} = w_0 \left(\frac{2a}{\pi b} \sin \frac{\pi b}{2a} \right)^2, \quad (8)$$

где H – высота подъёма груза ПРП, см; b – сторона на контакта ПРП с опорными поверхностями, см, которую можно определить следующим образом:

$$b = \sqrt{\frac{G}{6q}} . \quad (9)$$

Статистическая обработка результатов высоты подъёма груза, полученных аналитическим путём при помощи уравнения (5), и результатов, полученных при проведении полнофакторного натурального эксперимента [2], выполненная при помощи t – критерия Стьюдента [3] в точках плана, показала, что аналитические и экспериментальные результаты совпадают с доверительной вероятностью 0,95.

Оценка эффективности проведения аварийно-спасательных работ

Для определения эффективности проведения аварийно-спасательных работ при помощи ПРП было проведено имитационное моделирование на основании экспертных оценок специалистов [4]. Экспертные средневзвешенные оценки вероятности правильного выбора способов осуществления доступа к пострадавшему и его деблокирование опытным руководителем работ приближается к 90%. В то же время, у неопытных руководителей проведения аварийно-спасательных работ, экспертная средневзвешенная оценка вероятности правильного выбора способов не превышает 45%. Проведенные имитационные эксперименты показали, что в случае правильного выбора способов работы, математическое ожидание извлечения пострадавшего из завала составит 256 мин. При этом вероятность того, что извлечённый пострадавший будет живым составит $P(t < 240) = 0,6$. Когда спасательные работы проводит опытный руководитель, можно ожидать 279 мин. и соответствующую вероятность 0,52. В случае проведения спасательных работ неопытным руководителем – 336 мин., $P(t < 240) = 0,35$.

В том же случае, когда АСР проводят неопытные спасатели, которые используют таблицы и графики, отражающие соотношение (1), среднее время извлечения будет порядка 313 мин., а $P(t < 240) = 0,45$.

Видно, что даже у неопытного руководителя спасательных работ, имеющего при себе необходимый справочный материал, значительно повышаются шансы на успешное их завершение.

Заключение

Таким образом, полученная зависимость позволяет заблаговременно определить значения высоты подъёма груза при различных сочетаниях его массы, необходимого давления сжатого воздуха и размеров ПРП. На основании полученных значений можно заранее составить различные графики и таблицы, а также компьютерные программы, позволяющие даже неопытному руководителю работ точно определить способ безопасного применения ПРП в той или иной ситуации. Полученные результаты показывают, что основные рекомендации направлены на увеличение размера пятна контакта, для этого спасатели должны дополнительно к ПРП иметь трапы, подкладки, клинья и т.д.

Литература

1. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки // Пер. с англ. В.И. Контовта. Под ред. Г.С. Шапира. – М.: Наука, – 1966. – 635 с.
2. Алексеев Р.И., Коровин Ю.И. Руководство по вычислению и обработке результатов количественного анализа. – М.: Атомиздат, 1972. – 72 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 264 с.
4. Стрілець В.М. Імітаційна оцінка ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт // Матеріали научно-практичної конф. «Пожарна безпека – 2003». – Харків: Изд-во АПБУ. – 2003. – С. 181–183.

Рецензент: Л.И. Нефедов, профессор, д. т. н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2006 г.