

УДК 539.3:614.8

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОРЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ И ЕМКОСТЕЙ

Беликов А. С., д.т.н., проф.,

Голендер В. А., к.т.н., доц.,

Капленко Г. Г., к.т.н., доц.,

Чаплыгин А. С., инж.

Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Тел. (0562) 46-98-57

Аннотация – в работе проведено моделирование сходных процессов образования пятен контакта между опорными и рабочими поверхностями пневморезервуаров: пневмоподъемников (ПП) и пневмопластырей (ППл). Изучены особенности их возникновения. Научно обоснована целесообразность создания мини комплекса МК-1 в составе аварийно-спасательного комплекса для безопасной и эффективной герметизации аварийных объектов транспортировки и хранения жидкостных сред.

Ключевые слова – пневмоподъемники, пневмопластыри, аварийно-спасательный комплекс, герметизация емкостей и трубопроводов, средства малой механизации.

Постановка проблемы. Безопасность и эффективность ведения специальных аварийно-восстановительных и ремонтных работ (АВРР) при разгерметизации трубопроводов и емкостей транспортировки и хранения агрессивных сред в жидком состоянии, в том числе нефти и нефтепродуктов, во многом зависит от выполняемых спец подразделениями операций с использованием тех или иных технических средств малой механизации. К числу наиболее распространенных и часто применяемых на ранних стадиях возникновения и развития подобных экстремальных ситуаций следует отнести пневмопластыри (ППл), которые изготавливают из химически стойкой армированной резины.

Пневмопластыри накладывают и прижимают к месту повреждения несущих поверхностей рассматриваемых аварийных объектов, а затем пневматически уплотняют. Таким образом, достигается блокирование отдельных опасных участков в виде трещин, пробоин, проломов и т.п. из которых может вытекать опасная жидкость. Аварийными объектами здесь могут быть резервуары вертикальные стальные (РВС); трубопроводы для транспортировки агрессивных жидкостей, в т.ч. нефти и нефтепродуктов; железнодорожные цистерны и автоцистерны различной емкости, поврежденные в результате аварий или по другим причинам.

С точки зрения геометрии эти объекты, имея цилиндрическую форму, отличаются друг от друга, в основном, геометрическими параметрами своих поверхностей, что и предопределяет общность и приемлемость подходов с использованием гибких пневморезервуаров.

С физической точки зрения существуют некоторые отличия в их использовании при ЧС, которые заключаются в том, что интенсивность истечения и, соответственно, объем вытекающей опасной жидкости из аварийных объектов различны. Это влечет за собой потерю ресурсов, а также возникновение разного уровня опасностей для работников специальных аварийно-восстановительных служб, что сопряжено с величиной избыточного и/или гидростатического давления истекающей жидкости. В значительной степени эффективность выполнения работ здесь связана с размерами повреждений объекта, аварийной ситуацией, метеорологическими условиями, оперативностью применения специфических технических средств и четкостью действий самих работников.

Следовательно, для безопасного применения пневмопластырей (ППл) необходима разработка научно обоснованного тактико-технического обеспечения.

Анализ последних исследований. В настоящее время при ведении специальных видов работ находят применение пневморезервуары для проведения АВРР, применяемые как пневмоподъемники (ПП) – пневмоподушки и другие средства механизации в зависимости от конкретно решаемых задач [1, 2]. Пневмоподушки и пневмоподъемники (ПП) используются при работе по приподниманию грузов. Для этого необходимо каким-либо способом подложить («подсунуть») его под груз, который требуется приподнять. Затем, от внешнего источника подать под давлением в ПП воздух. Например, с помощью типового баллона сжатого воздуха (или ресивера компрессора).

Формулирование целей статьи (постановка задания). Как свидетельствует проведенный анализ, выполнение специальных работ

по герметизации аварийного технологического оборудования, которые наполняется жидкостями самотеком или под давлением, до настоящего времени не имеет научно обоснованного сопровождения (тактико-технического обеспечения), преследующего цель обеспечить безопасность использования соответствующих технических устройств.

В связи с этим возникает необходимость в проведении исследований, которые позволят этот пробел восполнить. Безусловно, здесь должно быть корректно исследовано и учтено напряженно-деформированное состояние (НДС) основного элемента применяемого устройства – пневморезервуара ППл, его габаритные размеры, конкретное место расположения и схемы приложения усилия предварительного прижатия к аварийному объекту, а также противодействие, связанное с подачей вовнутрь ППл сжатого воздуха.

Таким образом, для герметизации аварийных трубопроводов и емкостей, во-первых, существует практическая необходимость в оснащении универсального аварийно-спасательного комплекса многофункционального назначения (АСК-МФ) неким мини комплексом, названным нами МК1, который включает в себя не только пневморезервуары, но и некоторые дополнительные элементы малой механизации. А во-вторых, возникает потребность в научном обосновании и разработке тактико-технического обеспечения к применению существующих и перспективных конструкций с обеспечением безопасности их использования.

Основная часть. Важным этапом в построении расчетной теоретической модели научного сопровождения к использованию ППл является установление вида так называемых пятен контакта, что предопределяет формулирование граничных условий так называемой краевой задачи безмоментной теории упругости тонкостенных оболочек.

Как показали проведенные нами исследования, пятна контакта при целевом использовании пневморезервуаров ППл отличаются от пятен контакта ПП, хотя их принцип работы идентичен – подача сжатого воздуха внутрь пневморезервуара и увеличение в объеме.

Тем не менее, и в том и другом случае, с точки зрения теории упругости гибких тонкостенных оболочек, основные их особенности могут быть математически описаны с помощью граничных условий статического равновесия рассматриваемых пневморезервуаров. К тому же, как видно из табл. 1, имеется возможность поставить в соответствие друг другу некоторые их сходные параметры.

Эти данные при их достоверной оценке дают возможность в процессе решения задач о НДС прогиба тонкостенных оболочек и в обоих случаях воспользоваться известными из теории упругости

дифференциальными уравнениями изгиба пластин в потенциальном силовом поле с различными граничными условиями. Используя общность рассматриваемых задач теоретического анализа работоспособности ПП и ППл, целесообразно адаптировать известные из классической теории упругости математические модели, сформировать данные для постановки и решения задач прогиба гибких оболочек применительно к работе пневморезервуаров, используемых при герметизации аварийных объектов цилиндрической формы.

Таблица 1 - Сопоставление рабочих параметров пневмоподушки пневмопластырей.

№ п/п	Приподнимание грузов пневморезервуаром ПП		Герметизация объемов пневморезервуаром ППл	
1	Сопротивление веса приподнимаемого груза, G	G , тонн	Противодавление изнутри аварийной емкости, p	p , МПа
2	Давление, подаваемое во внутрь ПП – q	q , МПа	Давление, подаваемое во внутрь ППл – q	$q_m > q > p$ МПа
	Высота подъема груза (возвышение ПП)	H , м	Величина возвышения точки «С» – центра ППл	h , м
3	Площадь двухстороннего пятна контакта ПП	$2S_1$, $м^2$	Одностороннее пятно на объекте $S_1 = A_1 \times B_1$	S_1 , $м^2$
4	Площадь равных пятен контакта, $S_1 = A_1 \times B_1$	S_1 , $м^2$	Площадь аварийного проема следует найти	$S_1 \gg S_{0M}^2$
5	Центр тяжести известен: $x_c = A_1/2$, $y_c = B_1/2$	x_c, y_c м	Ее геом. центр тяжести следует найти	x_c, y_c м

Очевидно, что значения приведенных в табл. 1 показателей связаны с давлением воздуха, подаваемого в пневморезервуары, с габаритными размерами пневмоподушек и пневмопластырей, а также от граничных условий примыкания к рабочим пятнам контакта и материала, из которого изготавливают ПП и ППл. При этом понятно, что предельно допустимое давление воздуха, нагнетаемого вовнутрь всех типов пневморезервуаров, ограничено прочностью материала на растяжение их оболочечных половин. Поэтому для повышения прочностных качеств и ПП и ППл они дополнительно армируются

материалом, который обладает достаточно большим модулем упругости на растяжение.

Что касается пятен контакта ПП, то в силу очевидной простоты образования их формы на опорных поверхностях оболочек ПП (прямоугольник или квадрат), математическая составляющая разработки тактико-технического обеспечения к их применению не так уж сложна, т.к. граничные условия задачи достаточно просто определяются аналитически прямоугольными контурами.

Совсем другая ситуация может оказаться в условиях применения пневморезервуаров ППл при герметизации технологически поврежденных трубопроводов и емкостей хранения небезопасных жидкостей.

Опыт работы аварийно-восстановительных и ремонтно-строительных подразделений свидетельствует, что кроме ППл в условиях внезапного нарушения целостности поверхностей трубопроводов и емкостей хранения жидкостей при аварийных ситуациях применяются и пневморезервуары ПП. Что и показано на рис. 1 (а, б) для случаев восстановления герметичности поврежденных трубопроводов и резервуаров, предназначенных для транспортировки и хранения небезопасных жидкостей. Причем, в зависимости от ситуации дополнительные вспомогательные элементы к применению ПП или ППл естественно будут различаться.

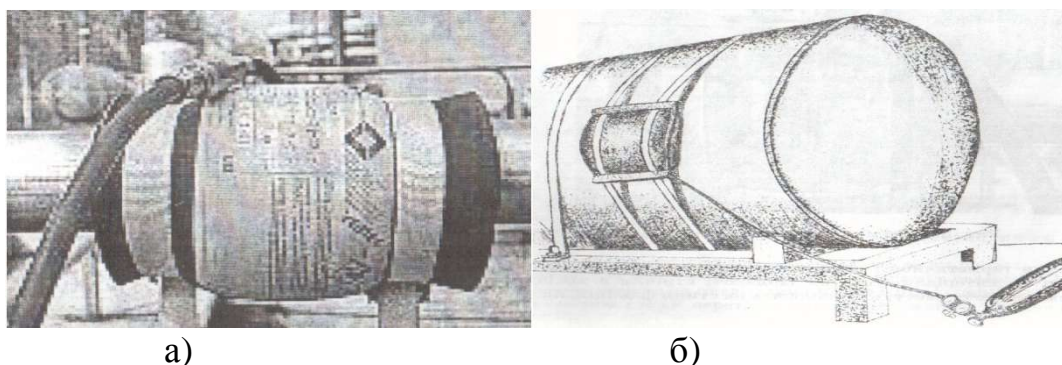


Рис. 1. Герметизация аварийного трубопровода (а) и аварийной емкости (б) с помощью ПП, как пневмопластыря (бандаж-пластыря)

Рисунок 2 дает представление об особенностях образования пятна контакта между герметизируемым цилиндрическим объектом диаметра D и рабочей поверхностью одной из половин пневморезервуара, используемого как ППл. Понятно, что при относительно больших диаметрах больших емкостей ($D \rightarrow \infty$), таких хранилищ, как РВС-2000, форма эффективного примыкания ППл к

поверхности РВС можно считать практически плоской, а в проекции имеющей вид прямоугольника.

Подразумевается, что при задействовании на объекте ППл (пневмопластыря) одной своей половиной он будет перекрывать своей эффективной площадью S_1 аварийный дефект полностью (рис. 2) практически без деформации и «запирать» за счет внутреннего противодействия воздуха с интенсивностью q действие гидростатического и/или избыточного давления жидкости с интенсивностью p , тем самым ликвидируя течь. Вторая же половина ППл, не встречая контактного сопротивления (само пятно контакта как таковое отсутствует), «раздувается» свободно в одну сторону и будет приобретать вид оболочки арочного типа.

В принципе практически пневморезервуары всех типов могут с успехом использоваться и для приподнимания грузов и для «заделывания» дефектов поверхностей РВС, цистерн, а также аварийных трубопроводов. Однако, унифицировать их применение, не исследовав сходных и отличительных особенностей решения задач прогиба гибких оболочечных конструкций ПП и ППл, не представляется возможным.

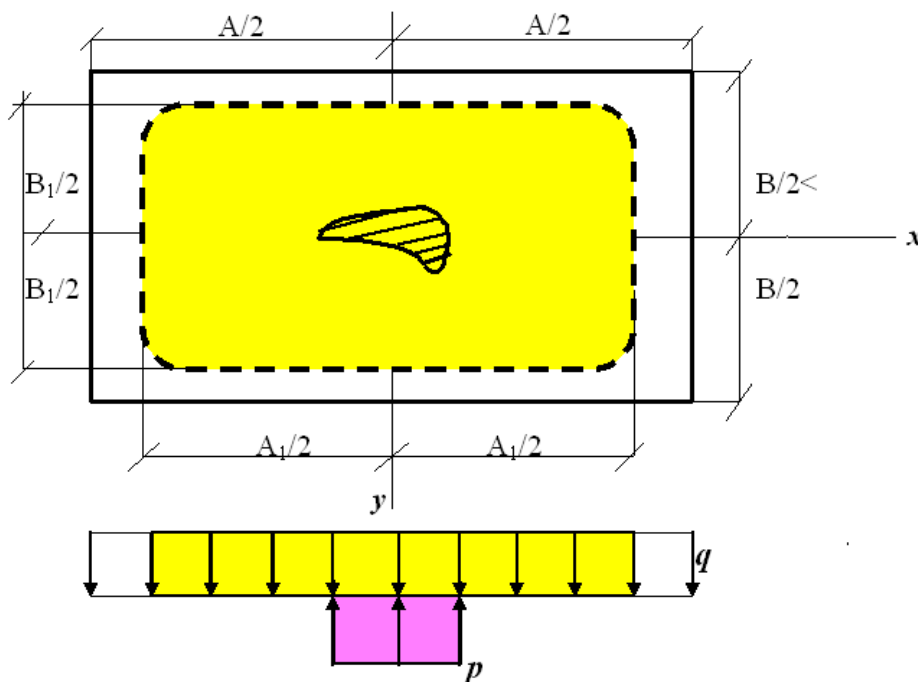


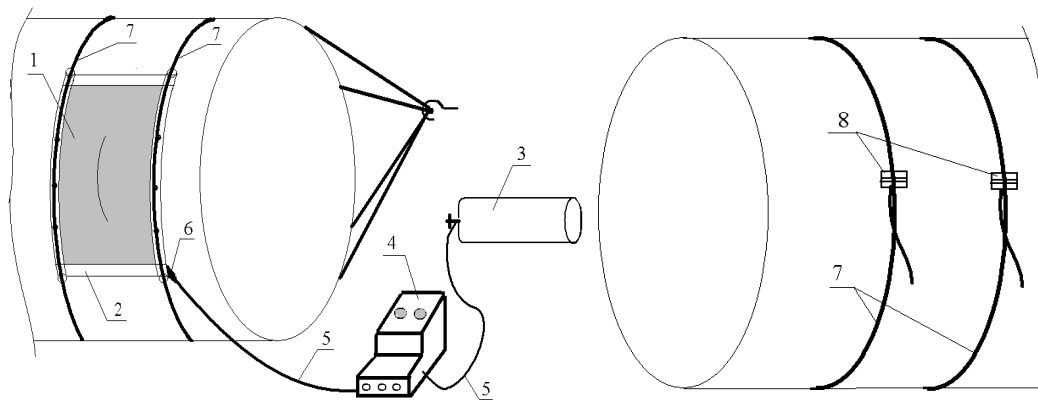
Рис. 2. Схема примыкания одной из половин ППл к аварийному РВС по контуру прямоугольного пятна контакта и Формулирование контакта с дефектом (заштриховано)

Среди недостатков известных устройств и приемов герметизации аварийных трубопроводов транспортировки и резервуаров хранения

агрессивных жидкостей следует отметить их низкую надежность и опасность использования. Это связано с необходимостью обеспечивать и контролировать плотность примыкания пневморезервуаров к месту повреждения поверхности аварийного объекта. В связи с чем подготовительные работы к применению обычных пневморезервуаров усложнены и трудоемки, что нежелательно с точки зрения непроизводительных затрат времени и небезопасно для спасателей в условиях аварийности ситуации.

В основе предложенного нами устройства МК1 в составе АСК-МФ и способа его задействования поставлена задача улучшения тактико-технических показателей (эффективности) устройства для проведения АСР и РВР на аварийных (разгерметизированных) объектах транспортировки и хранения жидкостей, а именно – повышение надежности, оперативности и безопасности его использования, т.е. повышения эффективности применения ППл (бандаж-пластыря).

Поставленная задача решается за счет того, что бандаж-пластырь зафиксирован во вспомогательной шарнирной рамке, которая представляет собой четырехстороннюю конструкцию, две параллельные стороны которой выполнены из шарнирно соединенных между собой звеньев, а фиксирующие такелажные стропы оборудованы специальными зажимами (рис. 3).



а) «вариант 1» – фронтальный вид б) «вариант 2» – вид с тыла

Рис. 3. Варианты фиксации разработанного устройства на аварийном объекте и его комплектация: бандаж-пластырь - 1, вспомогательная шарнирная рамка - 2; баллон сжатого инертного газа (воздуха) - 3; система регулирования его подачи - 4; соединительные гибкие резиноканевые шланги - 5; вводный штуцер - 6; фиксирующие такелажные стропы - 7; специальные зажимы – 8.

Шарнирное соединение звеньев двух параллельных сторон металлической рамки даст возможность бандаж-пластырю, зафиксированному в неё, повторять поверхность защищаемого объекта. Наличие в комплекте с бандаж-пластырем такелажных строп с зажимами позволит быстро, надежно и безопасно герметизировать дефекты (пробоины, проломы, трещины и т.п.) на жидкостных трубопроводах и емкостях с цилиндрическими поверхностями.

Выводы. Проведено моделирование сходных процессов образования пятен контакта между опорными и рабочими поверхностями пневморезервуаров: пневмоподъемников (ПП) и пневмопластырей (ППл). Изучены особенности их возникновения.

На основе аналитических исследований научно обоснована целесообразность создания мини комплекса МК-1 в составе АСК-МФ для безопасной и эффективной герметизации аварийных объектов транспортировки и хранения жидкостных сред.

Литература:

1. *Аветисян, Ю.М. Сенчихин, С.В. Кулаков* Рятувальні роботи під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Частина 1: Посібник. За загальною редакцією В.Н. Пшеничного / *В.Г. Аветисян, Ю.М. Сенчихин, С.В. Кулаков. та інші.* – К.: Основа, 2006. – 240 с.
2. *А.С. Беликов* Тактико-техническое обоснование применения средств малой механизации при чрезвычайных ситуациях / *А.С. Беликов, В.А. Голендер, А.И. Касьян, Ю.Ф. Стаценко* // Будівництво, матеріалознавство машинобудування. – 2008. – Вип. 45. – Ч.2. – С. 61-66.
3. *А.С. Беликов* Экспериментально-теоретические исследования процесса образования пята контакта при работе аварийно-спасательной подушки / *А.С. Беликов, В.А. Голендер, А.И. Касьян и др.* // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – №11. – С. 35-42.

ТЕОРЕТИЧЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПНЕВМОРЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ ІЄМНОСТЕЙ

Беліков А.С., Чаплигін О.С., Голендер В.А., Капленко Г.Г.

Анотація – в роботі проведено моделювання подібних процесів утворення плям контакту між опорними та робочими поверхнями пневморезервуарів: пневмопідіймачів (ПП) та пневмопластирів (ППл). Вивчені особливості їх виникнення.

Науково обґрунтована доцільність створення міні комплексу МК-1 у складі аварійно-рятувального комплексу для безпечної та ефективної герметизації аварійних об'єктів транспортування та зберігання рідин.

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE APPLICATION
OF PNEUMATIC RESERVOIRS FOR PIPELINE AND
VESSEL SEALING**

A. Belikov, O. Chaplygin, V. Holender, G. Kaplenko

Summary

Similar processes of formation of the contact between the support and work surfaces of pneumatic reservoirs: pneumolift (pp) and pneumosealer (ipt) are modeled in the paper. The features of their occurrence are studied. The feasibility of establishing a mini complex of MK-1 in the rescue of the complex for a safe and effective sealing of emergency facilities of transportation and storage of liquid media is scientifically proved.