

## **СОЗДАНИЕ СЕМЕЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТОРООБРАЗНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСТРАНШЕЙНЫХ ВНУТРИТРУБНЫХ РАБОТ**

*В статье рассматриваются варианты внедрения бестраншейных способов ремонта трубопроводов взамен траншейных на основе применения универсальных торообразных устройств.*

*Тутукторду траншеясыз ремонттодо колдонуучу универсалдуу торообраздуу тузулушторду колдонуу жолдорун аныктоодо.*

*In article are considered introduction variants withouttrench ways of repair pipelines in exchange of trenches on the basis of applications universal torfigurative devices.*

Актуальность задачи создания семейства эффективных внутритрубных приводов обусловлена большой протяженностью трубопроводов в России, их высоким износом и значительными объемами ремонтных работ. В настоящее время в России преимущественно применяются траншейные способы ремонта трубопроводов, которые сопряжены с выполнением большого объема земляных работ, перекрытием или торможением транспортных потоков, разрушением и последующим восстановлением дорожных покрытий, повреждением и повторной посадкой зеленых насаждений. Сказанное требует больших затрат труда, времени и денежных средств. Указанные недостатки могут быть устранены совершенствованием и внедрением бестраншейных способов ремонта трубопроводов взамен траншейных.

В процессе бестраншейного ремонта трубопроводов внутритрубными приводами должны выполняться самые различные операции: протяжка троса, осушение трубопровода, транспортирование очистных снарядов (щеток, скребков, поршней и т.п.), нанесение покрытия на внутренние стенки трубопровода, перемещение видеокамеры, поиск сквозных дефектов и др. В настоящее время для выполнения этих операций применяются достаточно сложные и узкоспециализированные устройства. Например: для осушения трубопровода – насосы; транспортирования очистных снарядов – лебедки; перемещения видеокамер – гусеничные и колесные внутритрубные приводы. Поскольку эти приводы узкоспециализированные, то необходимое их число для обеспечения полной механизации работ на объекте достаточно велико и приближается к числу операций в этом процессе. Конструкция таких приводов также достаточно сложна, а число деталей в каждом из них достигает несколько десятков и даже сотен. Все сказанное приводит к снижению надежности комплекса оборудования, увеличению затрат на его приобретение и применение.

Учитывая вышесказанное, была поставлена задача – создать внутритрубное техническое средство для бестраншейного ремонта трубопроводов высокой степени универсальности, проходимости и простоты конструкции. Для формализации этой задачи были выбраны такие критерии универсальности, как число выполнения различных операций и обеспечение возможности работы на нескольких типоразмерах диаметров ремонтируемых трубопроводов. В качестве критерия простоты конструкции было выбрано количество деталей в создаваемом техническом средстве, а в качестве критерия проходимости – величины преодолеваемых сужений и углов изгиба трубопроводов по конкретному радиусу.

С целью уменьшения трудоемкости создания нового технического средства из всех известных способов был выбран способ бестраншейного ремонта трубопроводов путем нанесения внутритрубного покрытия как один из самых простых и дешевых. Поскольку от

решения задачи требуется выполнение сравнительно большого количества функций в трубопроводах, то логично это решение искать в области использования материалов с высокой гибкостью, что и было сделано. В результате проведенных автором исследований, творческого поиска и обобщения полученных результатов было найдено два решения, удовлетворяющих условиям задачи. Одно из решений основано на использовании эластичного наполненного воздухом торообразного устройства (рис. 1), а другое – на использовании гибкого рукавноторообразного устройства (рис. 2).

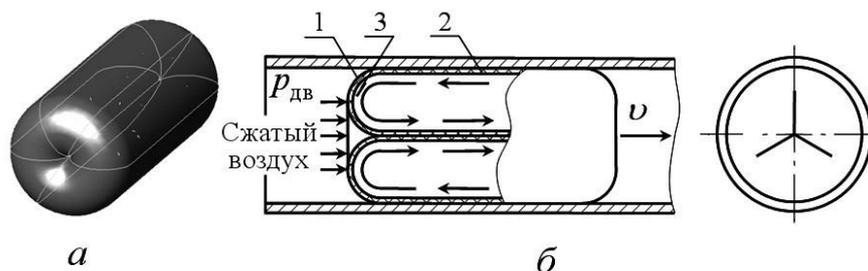


Рис. 1. Торообразный привод: а – общий вид; б – схема движения в трубопроводе; 1 – тканевая оболочка; 2 – резиновая камера; 3 – ниппель

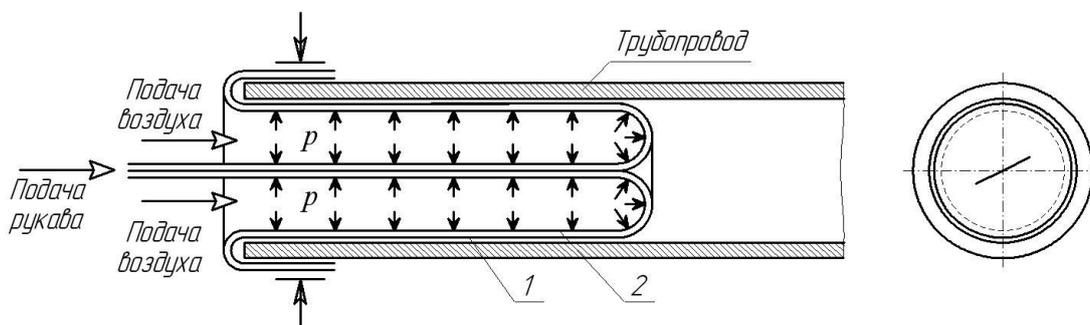


Рис. 2. Рукавноторообразный привод: 1 – тканевая оболочка; 2 – пленочный рукав

Техническое средство, показанное на рис. 1, основано на использовании так называемого тора, который отличается от обычного, имеющегося в нашем представлении тора как геометрической фигуры тем, что вытянут в длину, выполнен полым, заполнен воздухом, имеет эластичную камеру и гибкую тканевую покрывку, а его продольное отверстие сомкнуто, рис.1, а. Применение такого тора основано на способности перекрывать поперечное сечение трубопровода и передвигаться в нем качением под действием разности давлений воздуха на его концах  $p_{дв}$ , рис. 1, б.

Устройство, показанное на рис. 1, состоит всего лишь из 3-х деталей, а на рис. 2 – 2-х деталей. В качестве источника энергии в обоих решениях используется компрессор либо вакуумнасос. В случае использования вакуумнасоса вакуум создается в пространстве трубопровода справа от тора (рис. 1) или рукавноторообразного устройства (рис. 2). Для исключения утечки сжатого воздуха, подаваемого в трубопровод с его левого конца (рис. 1, 2), должны применяться вводные устройства, которые на этих рисунках, так же как и компрессор с вакуумным насосом, не показаны.

Возможные схемы применения предлагаемых торообразных устройств для механизации выполнения различных внутритрубных работ при прокладке, ремонте и эксплуатации трубопроводов представлены на рис. 3. Как следует из этого рисунка, торообразное техническое средство характеризуется высокой универсальностью и может быть использовано: а) для одновременного и отдельного транспортирования по трубопроводам в процессе их эксплуатации нескольких газообразных и жидких продуктов; б) ремонта трубопроводов (путем перемещения одним или двумя такими устройствами полимерной композиции или смоченного клеем рулонного материала с одновременным нанесением покрытия); в) осушения трубопровода; г) определения места

течи; д) глушения (перекрытия) трубопровода; е) оказания силовых или регулировочных воздействий на другие устройства, выступая в роли пневмоцилиндра. Таким образом, в зависимости от выполняемых функций рассматриваемое устройство в каждом конкретном случае может быть отнесено к классам механизмов (преобразование движения), приводов, двигателей, технологической оснастки или даже машин (транспортирование материалов; преобразование энергии; выработка новой продукции).

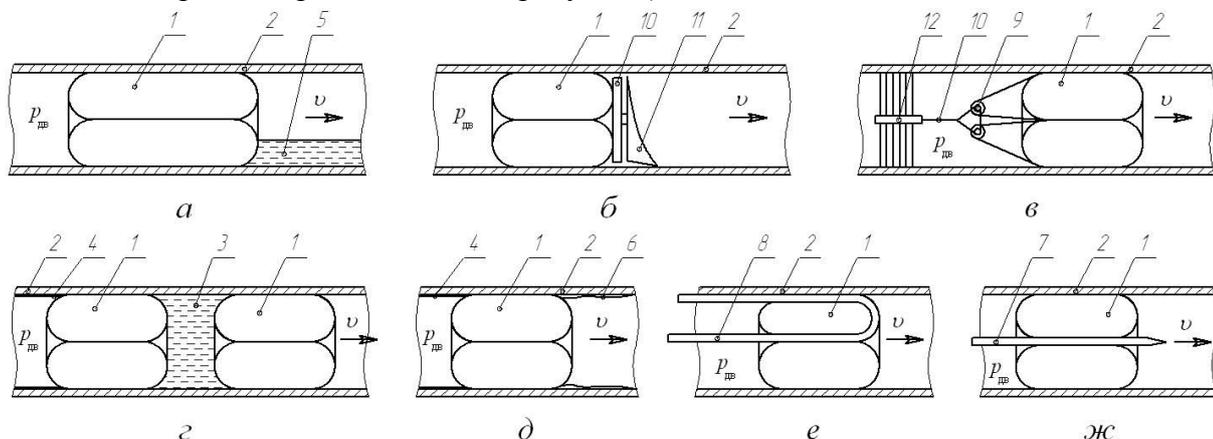


Рис. 3. Основные схемы применения эластичных торообразных устройств: *а* – удаление из трубопровода воды или другой жидкости; *б* – очистка трубопровода или выполнение транспортных операций тором-толкателем; *в* – то же, что и *б*, но тором-тягачом; *г* – нанесение материала покрытия в жидком виде на внутреннюю поверхность трубопровода с использованием двух торов; *д* – разглаживание, прикатывание и уплотнение покрытия (формирование покрытия); *е* – протаскивание в трубопроводе троса, фала и т.п.; *ж* – перемещение трубы, штока, выполнение функции пневмоцилиндра; 1 – тор; 2 – трубопровод; 3 – покрытие в жидком виде; 4 – сформированное защитное покрытие; 5 – удаляемая из трубопровода жидкость; 6 – несформированное покрытие; 7 – труба, шток и т.п.; 8 – трос, фал и т.п.; 9 – прицепное устройство; 10 – толкающее устройство; 11 – скребок или другой рабочий орган; 12 – щетка или по п. 11

Возможные схемы применения рукавноторообразного устройства показаны на рис. 4. При этом указанное техническое средство может быть использовано для осушения трубопровода, его очистки, выполнения транспортных операций, протяжки через трубопровод троса или фала, нанесения тканеклевого покрытия.

В результате анализа конструкции и порядка работы предложенного семейства технических решений установлено, что в последних присутствует большое количество как общих черт, так и отличий.

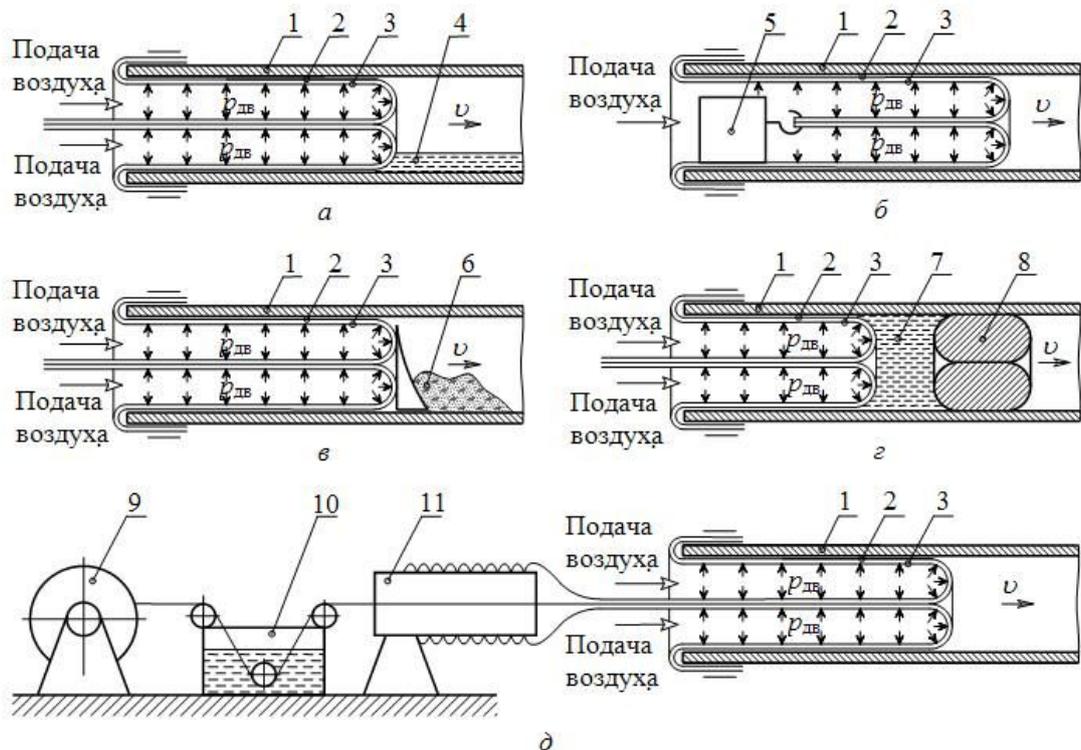


Рис. 4. Основные схемы применения рукавноторообразных механизмов: *a* – осушение трубопровода; *б*, *в* – транспортирование твердых и сыпучих тел; *г*, *д* – нанесение на внутренние стенки трубопровода полимерного и тканеклеявого покрытий способами окрашивания (*г*) и оклеивания (*д*): 1 – трубопровод; 2 – тканевая оболочка; 3 – пленочный рукав; 4 – вода; 5 – твердое тело; 6 – сыпучее тело; 7 – жидкий полимерный состав; 8 – торообразный механизм; 9 – барабан с тканевой оболочкой; 10 – ванна с клеем; 11 – патрубок с пленочным рукавом (устройство для герметичного ввода рукавноторообразного механизма в трубопровод на рисунке не показано)

Общими чертами этих решений являются: внутритрубное предназначение; высокая универсальность (выполнение функций транспортирования, удаления воды из трубопровода, протаскивания троса, восстановления трубопровода и др.); одинаковый механизм перемещения в трубопроводах (путем выворота с одновременным продольным перекачиванием); оболочечность и гибкость конструкции; использование для перемещения сжатого воздуха либо вакуума; применение не менее двух оболочек, из которых наружная воздухопроницаемая, а внутренняя воздухонепроницаемая; отсутствие трения скольжения между трубой и устройством; возможность перемещения в трубах различного поперечного и продольного сечений; возможность преодоления внутритрубных препятствий; предельно малое число деталей (в торе – 3, в рукаве – 2, для краткости здесь и ниже торообразный привод назван тором, рукавноторообразный – рукавом); нетрадиционность и малая изученность (в известных работах по созданию механизмов академика И. И. Артоболевского и др. исследователей подобные устройства отсутствуют).

Отличиями этих двух конструкций внутритрубных приводов являются следующие: тор имеет замкнутую полость, а рукав – открытую; в торе используются три различных давления воздуха (перед ним, внутри него и за ним), а в рукаве – два (внутри него и за ним); тор движется за счет разности давлений воздуха перед ним и за ним, а рукав – внутри него и за ним; рукав может быть как устройством, так и технологическим материалом для восстановления трубопровода, а тор – только устройством; тор имеет сравнительно небольшие габариты (обычно не более 3-х диаметров трубы) и все они одного порядка, а у рукава габариты по длине обычно на два порядка больше, чем его

диаметр; при наличии сквозных отверстий в трубопроводе тор останавливается, а рукав нет; тор может использоваться в качестве заглушки и для разделения нескольких продуктов при их одновременном транспортировании, а рукав – нет.

В результате проведенных автором исследований кинематики эластичного торообразного и гибкого рукавноторообразного приводов установлено:

а) рассматриваемые приводы передвигаются внутри трубопровода качением с отсутствием режима буксования, а следовательно, и изнашивания его элементов; в случае движения тора с постоянной линейной скоростью отдельные точки его поверхности в разные моменты времени находятся в состоянии покоя, равномерного, ускоренного или замедленного движения;

б) с увеличением длины привода скорость и ускорение его точек на участке равномерного движения (по оси механизма) не зависят от их диаметра и длины, а на участке переменного движения – не зависят от длины и пропорциональны диаметру; скорости точек; на участке равномерного движения в 2 раза выше скорости движения центра масс;

в) при рациональной для практики линейной скорости привода и номенклатуре применяемых труб ускорения точек его поверхности не превышают 10 % от ускорения свободного падения тел и не приведут к его перегрузке силами инерции;

г) при ожидаемых режимах эксплуатации приводов риск разрушения их деталей, вследствие усталости, невелик, т.к. эластомерные, тканевые и пленочные детали обладают повышенной гибкостью, а число циклов сгиба – разгиба за расчетный срок службы в 10 лет не превысит 500 тысяч.

Теоретически и экспериментально определены условия движения таких приводов. Так, для обеспечения надежности и устойчивого перемещения торообразного механизма необходимо назначать: давление воздуха в камере тора – 30–90 кПа при минимальном 10 кПа; движущее тор давление воздуха – 10–50 кПа; длину тора – в пределах 3-х его диаметров; толщину его камеры – 0,7–2,0 мм; диаметр тора при измерении в накачанном состоянии вне трубопровода на 2 – 4 % больше диаметра последнего.

Результаты экспериментального исследования автора тяговых свойств торообразного привода на стенде показаны на рис. 5. При этом выяснено:

а) характер и наличие экстремальных значений в зависимостях тягового КПД тора от тяговой нагрузки и давления воздуха в нем (рис. 5) на примере его применения в трубопроводах малых диаметров (внутренний диаметр 68 мм);

б) с увеличением внутреннего давления воздуха в торе с 50 до 90 кПа его максимально возможные тяговые усилия возрастают, а наибольший тяговый КПД снижается с 42 до 32 % (для трубопровода с внутренним диаметром 68 мм); при увеличении диаметра трубопровода и движущего давления воздуха наблюдается тенденция к увеличению значений КПД и тяговых усилий;

в) оптимальные давления воздуха в торе находятся в диапазоне 50–90 кПа, при меньших давлениях снижается наибольшее тяговое усилие и нарушается устойчивое качение тора, при больших же давлениях растут потери мощности на его передвижение, снижающие тяговый КПД.

Автором в результате исследований проходимости торообразного и рукавноторообразного устройств как транспортных средств в зависимости от параметров их конструкции, трубопровода и технологии применения установлено:

а) устройства могут преодолевать сужения трубопроводов до 25 % от номинального диаметра. Однако при этом в случае использования торообразного привода необходимое движущее тор давление воздуха возрастает в 1,5–2,0 раза, а полезная максимальная тяговая нагрузка уменьшается на 20 % при всех давлениях воздуха внутри тора;

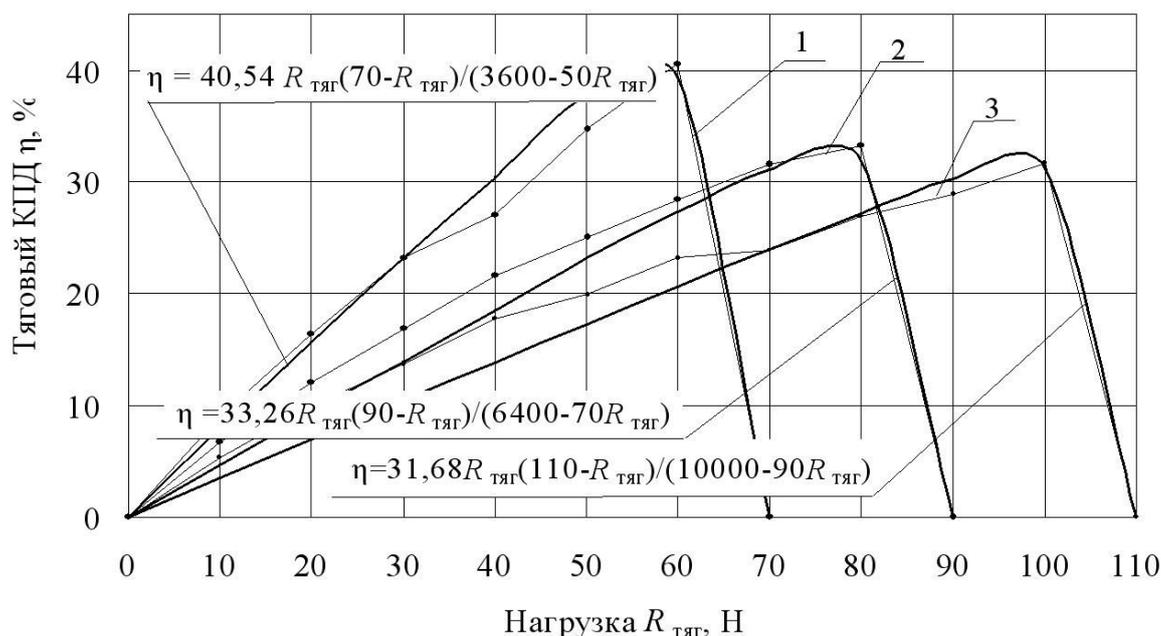


Рис. 5. Зависимости тягового КПД торообразного привода от тяговой нагрузки при различных значениях давления воздуха внутри тора: 1 –  $p_{вн} = 50$  кПа; 2 –  $p_{вн} = 70$  кПа; 3 –  $p_{вн} = 90$  кПа

б) механизмы способны преодолевать местные сужения (диафрагмы, сварные швы и пр.), уменьшающие диаметр трубопровода до 1,4 раза, однако для этого необходимо увеличение движущего давления воздуха в 1,5–1,6 раз; тяговое усилие таких устройств при переходе через диафрагму уменьшается в меньшей мере, чем при входе в трубопровод меньшего диаметра, равного диаметру отверстия в месте диафрагмы;

в) устройства способны проходить изгибы трубопровода с углами от 120 до 180° при наиболее тяжелом для движения нулевом радиусе изгиба; при прохождении такого изгиба трубопровода с углом 160° необходимо увеличение движущего давления воздуха в 1,25 раза, с углом 140° – в 1,7 раза, 120° – в 4,0 раза; минимально необходимое давление воздуха в торе для устойчивого прохождения им изгиба трубопровода с углом 160° должно составлять 30 кПа, с углом 140° – 40 кПа, а с углом 120° – 50 кПа;

г) наименьшее давление воздуха в торе для его устойчивого движения в трубопроводах без изгибов и сужений должно быть не менее 10 кПа.

Расчеты и результаты экспериментов показывают, что применение предлагаемых устройств в процессе бестраншейного ремонта трубопроводов позволит снизить затраты по сравнению с траншейной технологией в 1,5–2 и более раз.