

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА АГРЕГАТОВ ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОГО РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ СПОСОБОМ КОМБИНИРОВАННОГО ТОРООБРАЗНОГО РУКАВА

Азеев А.А.

Научный руководитель – профессор Емелин В.И.

Сибирский федеральный университет

Актуальность работы обусловлена значительным износом трубопроводов России, протяженность которых составляет более 2 миллионов километров. Отдельному исследованию подлежат трубопроводы холодного водоснабжения и водоотведения, так как они отличаются наибольшим количеством факторов, усложняющих их ремонт. В частности, – большим количеством отводов, сужений, смотровых колодцев, повышенной коррозионной агрессивностью среды и высокими санитарно-гигиеническими требованиями. Решением этой проблемы может стать использование технологии комбинированного рукава. Из актуальности работы сформулированы цель и объект исследования. Целью работы является повышение производительности комплексов агрегатов, обеспечивающих необходимые показатели качества ремонта при его выполнении на трубопроводах холодного водоснабжения и водоотведения способом комбинированного торообразного рукава.

Для обоснования задач работы в рамках поставленной цели выполнен анализ состояния вопроса, который показал, что в области бестраншейного ремонта к ведущим научно-производственным организациям относятся Aarsleff, Rohrsanierung, ВНИИСТ, «Комбест», СибНИИГиМ и др. В этой области известны работы В. Н. Белобородова, В. И. Емелина, В. А. Орлова, В. С. Ромейко, С. В. Храменкова, Мура, Наджафи, и др. Все способы бестраншейного ремонта трубопроводов можно разделить на две группы: с заменой и усилением старого трубопровода, путем нанесения покрытий. В качестве объекта исследования выбран способ пневмовыворота комбинированного рукава и оборудование для его реализации, отличающиеся наибольшей перспективностью.

Реализация процесса ремонта рукавом возможна по нескольким базовым схемам. Наиболее простая из них включает барабан с тканевой оболочкой, устройство для совмещения этой оболочки с пленочным рукавом, компрессор и устройство для ввода полученного рукава в заранее очищенный трубопровод. После ввода рукав выдерживают под давлением воздуха до окончания полимеризации покрытия. Возможны и другие схемы, например, с использованием барокамеры, лебедки, рефрижератора, внутренней или внешней пропитки рукава в стационарных и объектных условиях, выворота сжатым воздухом и вакуумом. При устройстве многослойного покрытия ввод рукава может быть одно и многопроходным. В качестве основных материалов в работе рассматривались: полиамидная фильтровальная иглопробивная ткань, эпоксидная смола ЭД-20, отвердитель ЭТАЛ-45 М, полиэтиленовая пленка.

В рукавной технологии были выявлены следующие моменты, требующие дополнительных исследований: неизвестны оптимальные режимы работы торообразного рукава, сложность пропитки многослойных заготовок покрытий, отсутствует методика расчета оптимальных параметров агрегатов и технологии.

Поэтому были поставлены следующие задачи:

1. Разработать математические модели прочности рукава, процесса бестраншейного ремонта трубопроводов, алгоритм и компьютерную программу для оптимизации параметров технологии и агрегатов с учетом основных факторов влияния.

2. Установить закономерности изменения производительности агрегатов и обеспечения прочности рукава с учетом основных факторов системы «трубопровод-технология- оборудование» и требований к качеству ремонта трубопроводов.

3. Разработать технические решения оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов способом комбинированного рукава и усовершенствовать технологию нанесения многослойных покрытий.

4. Установить зависимости тяговых свойств, прочности и скорости пропитки рукава, а также адгезии и прочности покрытия от основных факторов влияния.

5. Разработать, изготовить и применить комплект стендов для решения 4-й задачи.

6. Разработать методику проектирования агрегатов и производства работ.

В работе выполнены исследования, как процесса, так и агрегатов, поскольку они взаимообусловлены и должны опираться друг на друга. При этом первые три задачи решены теоретическим способом. Другие преимущественно экспериментальным. Ниже коротко приведены результаты решения поставленных задач.

При составлении математической модели оценки прочности рукава, в качестве целевой функции выбраны напряжения в его оболочке, а в качестве основных факторов влияния – его диаметр, давление воздуха в нем и толщина тканевой оболочки. Эта модель разработана с использованием исследования Лапласа для твердых оболочек, работ В. И. Емелина, Р. М. Авдеева для гибких торообразных приводов и с учетом выявленных особенностей работы рукава. При этом выражения модели получены исходя из рассмотрения равновесия внутренних и внешних сил, действующих на элементарную площадку рукава при его плосконапряженном состоянии. В результате исследования нагруженности рукава по этой модели было установлено, что: 1) наибольшими напряжениями для рукава вне трубопровода являются поперечные в периферийной его части, в 4 раза превышающие продольные; 2) при нахождении рукава внутри трубы меньшего диаметра напряжения в периферийной части равны нулю, а наибольшие напряжения возникают в точках торцевой его части; 3) напряжения во всех, не прижатых к трубе точках рукава пропорциональны давлению воздуха, диаметру трубопровода и обратно пропорциональны толщине ткани.

Для составления математической модели процесса работы комплекса агрегатов была выбрана целевая функция в виде его технической производительности и основные факторы, к которым отнесены факторы трубопровода, технологии и оборудования. Необходимая для разработки этой модели расчетная схема движения рукава в трубопроводе, показана на рис. 1. При этом уравнения математической модели получены исходя из теории производительности и особенностей технологии, а ограничения – с учетом требований к качеству ремонта. Допущениями предполагалось, что процесс происходит при постоянной температуре без потерь тепла, сжатый воздух подобен идеальному газу, рукав движется с постоянной скоростью без ускорения. При разработке этой мат. модели были учтены только основные операции, а очистка трубопровода, его нагрев и испытание запараллеливались без увеличения длительности процесса.

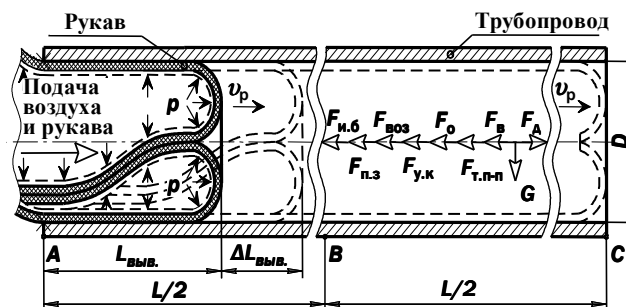


Рис. 1. Расчётная схема нагружения и перемещения КТР в трубопроводе на длину захватки: v_p – скорость движения рукава, м/ч; $F_{и.б}$, $F_{п.з}$, $F_{воз}$, $F_{ур}$, F_o , $F_{т.п-п}$, F_B – сопротивления движению рукава, обусловленные:

инерцией барабана с намотанной тканевой оболочкой; прохождением рукава через пневмозатвор; выталкиванием из трубопровода воздуха; прохождением через агрегаты комплекса (барабан, ванна); отводами и сужениями; трением срединной части рукава; выворотом рукава, кН; F_d – движущая сила рукава, кН; G – вес находящейся в трубопроводе срединной части рукава, кН.

Для исследования математических моделей и поиска оптимальных параметров процесса составлены алгоритм и компьютерная программа. В их основе лежат итерационные операции для выбора лучшего варианта по критерию наибольшей производительности комплекса агрегатов. Оптимизации подлежали длина захватки, производительность компрессора, давление воздуха и скорость рукава.

На основе теоретического исследования и патентного поиска были сформулированы основные технические противоречия, в области технологии и оборудования, направленные на интенсификацию пропитки многослойных рукавов на объекте ремонта. Результатами разрешения этих противоречий стали новые конструкции агрегатов и усовершенствованная технология нанесения многослойных покрытий. В частности, разработаны и запатентованы: установка для изготовления рукава; ванна с источником ультразвуковых колебаний; ванна с управлением вязкостью полимерного состава; ванна с вакуумированием рукава; многофункциональная установка для изготовления, пропитки и герметичного ввода рукава в трубопровод. Основные процессы и конструктивные схемы предложенных агрегатов отработаны на стендах в экспериментальном исследовании.

Усовершенствованная технология нанесения многослойных покрытий показана на рис. 2. Сущность этой схемы заключается в том, что рукав должен вводиться в 2 раза более длинным, т. е. равным длине 2-х захваток. При этом половину рукава после его ввода в трубопровод будет составлять периферийная часть, а вторую половину – срединная, которая после ввода последнего рукава должна быть прижата к стенкам трубы.

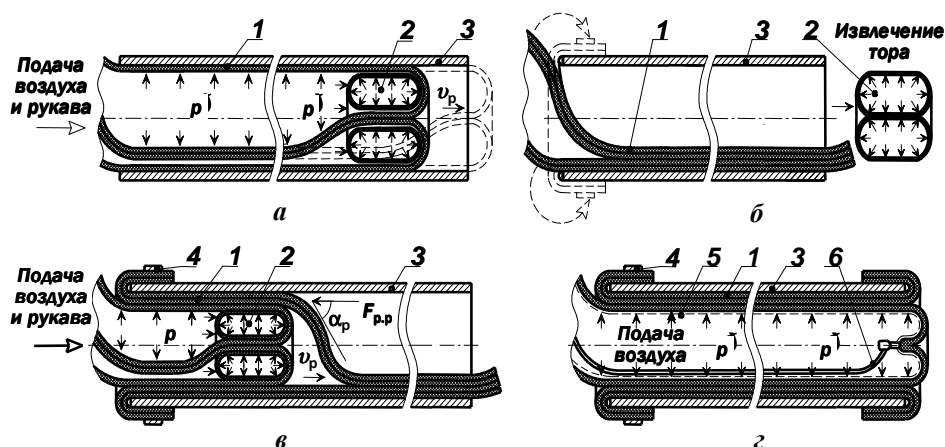


Рис. 2. Разработанная технологическая схема нанесения многослойных покрытий: а – ввод рукава длиной, равной двум длинам захватки; б – извлечение тора; в – ввод последующего рукава внутри вывернутой наизнанку оболочки; г – прижатие окончательного слоя покрытия пленочным рукавом до окончания его полимеризации; 1 – тканевая оболочка; 2 – тор; 3 – ремонтируемый трубопровод; 4 – хомут; 5 – пленочный рукав; 6 – фал.

На рис. 2 представлены результаты оптимизации процесса бестраншейного ремонта для различных схем пропитки и ввода рукава в трубопровод. Сравнение разработанной схемы выполнено с тремя известными: однопроходного ввода многослойного рукава, многопроходного ввода однослойного рукава и протяжки рукава лебедкой. Показано, что предлагаемая схема имеет в 1,5 раза большую производительность процесса. При этом даны рекомендации по области применения каждой из схем.

При разработке методики экспериментального исследования выбор целевых функций и основных факторов проводился с учётом требований измеряемости,

значимости и воспроизводимости. В качестве основных факторов влияния были выбраны факторы трубопровода, оборудования, технологии и частично – условий производства работ. В ходе обработки экспериментальных данных было установлено, что наиболее эффективный режим работы рукава обеспечивается при нагрузке, равной 50–70 % от предельной. Максимальный тяговый КПД рукавов достигает 60 и 80 % и возрастает с увеличением их диаметра и движущего давления воздуха. Выявлено, что рукав может преодолевать кроме горизонтальных, наклонные и вертикальные трубопроводы, их переходы и отводы. Однако при этом его тяговое усилие уменьшается, на горизонтальных отводах с углами от 0 до 60° – почти в 2 раза, а на переходах с сужениями до 50 % – до 2,5 раз. Установлено, что прочность покрытия пропорциональна числу слоев рукава, а производительность пропиточной ванны прямо пропорциональна гидростатическому давлению полимерного состава, обратно пропорциональна толщине тканевой оболочки и вязкости состава.

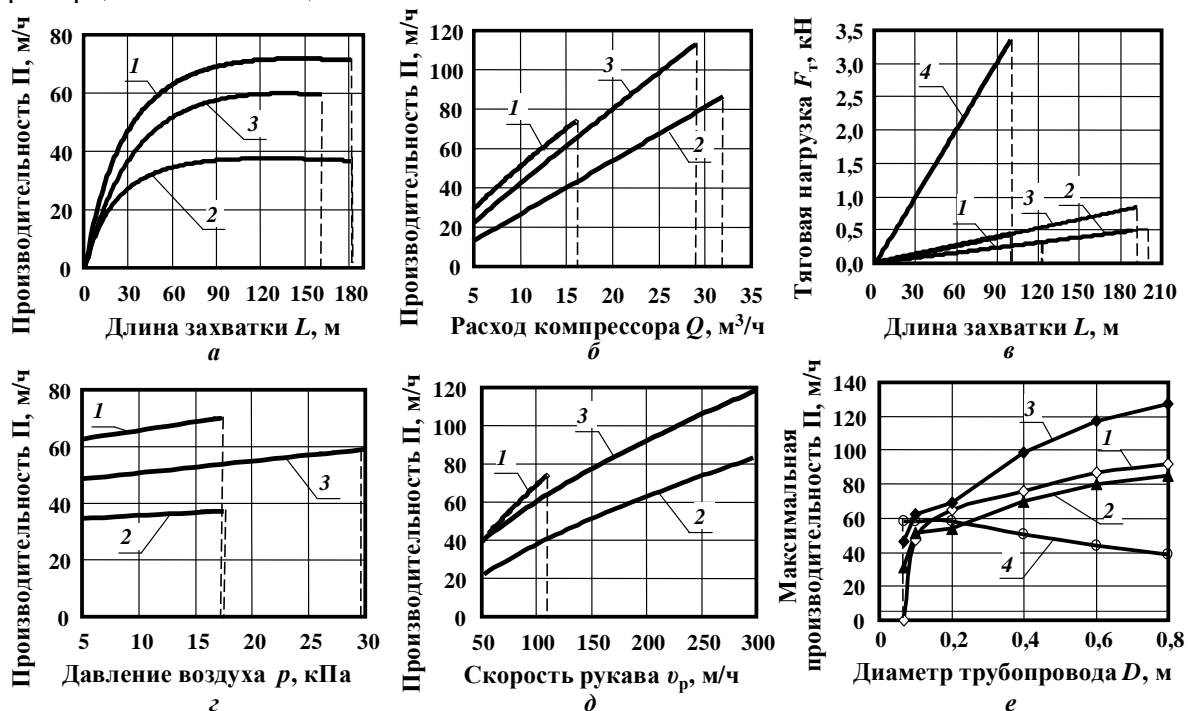


Рис. 2. Зависимости для: а, б, г, д, е – технической производительности комплекса оборудования от длины захватки, объемного расхода компрессора, давления воздуха, скорости рукава и диаметра трубопровода ($D = \varnothing 400$ мм, $L = 100$ м, $n = 2$, $Q = 15$ кПа); в – тяговой нагрузки от длины захватки ($D = \varnothing 100$ мм, $n = 2$): 1 – однопроходный ввод многослойного рукава; 2 – многопроходный ввод однослойного рукава; 3 – многопроходный ввод однослойного рукава увеличенной длины; 4 – протяжка рукава лебедкой (все графики построены для случая пропитки рукава на объекте ремонта).

Оценка экономической эффективности результатов работы дана путем сравнения с тремя другими способами ремонта трубопроводов, в частности, открытым способом, способом бестраншейной замены на полиэтиленовые трубы и рукавным способом с использованием импортных материалов и оборудования. При этом сравнение выполнено по удельным затратам на материалы, стоимости оборудования и себестоимости ремонта. Показано, что стоимость разработанного оборудования будет в 1,8 раза меньше, чем немецкой фирмы Rohrsanierung, а себестоимость ремонтных работ может быть снижена до 2 раз по сравнению с траншейным ремонтом в городских условиях.

В качестве научных результатов – представлены математические модели, алгоритм оптимизации, зависимости производительности оборудования, прочности рукава и ряда основных параметров процесса от основных факторов влияния. В качестве практических результатов – методика проектирования комплексов

оборудования и производства работ, предложенные конструкции агрегатов, усовершенствованная технология нанесения многослойных покрытий, комплект стендов и компьютерная программа. Внедрение результатов работы велось на станции «Зыково» Красноярской железной дороги и Есаульской оросительной системе Красноярского края.