

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА БЕСТРАНШЕЙНОГО РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Азеев А. А.

Научный руководитель – профессор Емелин В. И.

Сибирский федеральный университет

В настоящее время перспективным решением актуальной проблемы изношенности трубопроводных сетей может стать повсеместное использование способов их бестраншейного ремонта. При этом одним из наиболее популярных в США является способ комбинированного рукава, получивший активное развитие и в России. Сущность способа заключается в формировании на внутренней поверхности изношенной трубы герметичного композиционного покрытия с полимерной матрицей на основе полиэфирных или эпоксидных смол, армируемой техническими тканями. Вместе с тем, одной из причин, мешающих массовому внедрению этого способа в России, является отсутствие полноценных методик проектирования производства ремонтных работ и эффективного оборудования для их реализации.

Анализ зарубежных и отечественных источников позволяет выделить две основные схемы ввода комбинированного рукава в трубопровод: прямой протяжкой и выворотом. Выворот предпочтительнее прямой протяжки при ремонте более протяжённых участков достаточно большого диаметра с отводами и применением рукавов относительно небольшой толщины. Обзор известных процессов ремонта трубопроводов позволяет выделить следующие основные нестандартные изделия комплекса применяемого оборудования: установка для наружной пропитки тканевой оболочки полимерным составом, установка для изготовления комбинированного рукава и реверсивная установка для подачи рукава в трубопровод и его выворота. Предлагаемая схема работы всего комплекса оборудования представлена на рис. 1. Достоинствами такого комплекса являются его мобильность и отсутствие отжатия полимерного состава из тканевой оболочки при вводе рукава в трубопровод, что позволит повысить качество ремонта.

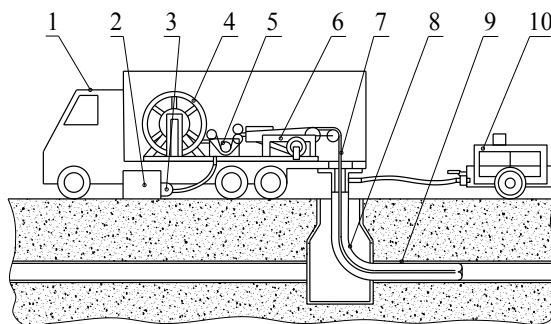


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема бестраншейного ремонта трубопроводов нанесением композиционного покрытия с одновременным выполнением операций пропитки, изготовления и ввода негерметичного комбинированного рукава: 1 – специальная реверсивная машина; 2 – наружная ванна для пропиточного состава; 3 – насос для подкачивания пропиточного состава; 4 – барабан с армирующей основой в виде тканевой оболочки; 5 – внутренняя ванна с пропиточным составом; 6 – установка для совмещения тканевой оболочки с плёночным рукавом; 7 – комбинированный рукав в составе тканевой оболочки и плёночного рукава; 8 – непропитанная клеем часть комбинированного рукава; 9 – ремонтируемый трубопровод; 10 – компрессор.

Основной критерий оптимизации – производительность комплекса оборудования, зависящая от состояния и назначения ремонтируемого объекта, условий производства работ, параметров оборудования и способов его применения. Зависимость от объекта ремонта проявляется в назначении диаметра рукава и установлении ограниче-

ний к свойствам полимерного композиционного покрытия (ПКП). Согласно ГОСТ Р 50583–93 были выбраны следующие основные механические показатели оценки ПКП, характеризующие его прочностные свойства: адгезия, разрушающие напряжения при растяжении и изгибе. Таким образом, задача оптимизации сформулирована так: для заданных характеристик объекта ремонта, с учётом требований к прочности покрытия, определить параметры процесса, рукава и оборудования, обеспечивающих максимизацию производительности.

Для получения закономерностей изменения производительности на рис. 2 представлена систематизация всех входящих в комплексный процесс ремонта простых процессов.

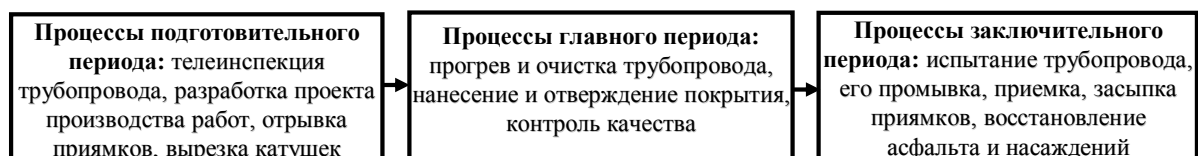


Рис. 2. Структурная схема комплексного процесса бестраншейного ремонта трубопроводов способом нанесения композиционных покрытий с использованием комбинированного рукава

Процессы главного периода, в свою очередь, также могут быть разделены на подготовительные (очистка и прогрев трубопровода), основные (нанесение и отверждение покрытия) и заключительные (контроль качества). В отличие от других периодов, процессы главного периода должны выполняться нестандартным вновь изготавливаемым оборудованием, так как серийное оборудование в России отсутствует. Учитывая сказанное, ниже представлена математическая модель процесса в виде уравнения (1) технической производительности комплекса оборудования П и выражений (2, 3) для определения оптимальных параметров. При этом рекомендуется рассмотреть техническую производительность при выполнении процессов только главного периода, с учётом длительности только основных операций этого периода, поскольку этот вид производительности наиболее информативен, а основные операции должны выполняться нестандартным оборудованием, которые мы должны спроектировать.

$$\Pi = k_{\text{и}} \cdot L \cdot v_p / (L + v_p T_{\text{всп.п}}) \quad \left. \begin{array}{l} \text{при } \left\{ \begin{array}{l} v_p \leq \frac{k_{\text{ин.}} \cdot v_{\text{р.1наиб.}}}{n}; \quad L \leq \min \left[\begin{array}{l} L_{\text{б}} / n; \quad L_{\text{и}}; \quad L_{\text{м}}; \quad L_{\text{т.м}} \end{array} \right] \\ \delta_{\text{п}} \approx 0; \end{array} \right. \right\}; \quad (1)$$

$$L_{\text{опт.}} = \min [L_{\text{б}}/n; \quad L_{\text{и}}; \quad L_{\text{м}}; \quad k_{\text{о.т}} \cdot v_p \cdot T_{\text{ж}}; \quad L_{\text{т.м}}]; \quad (2)$$

$$\pi(D_{\text{б}}^2 - D_{\text{в}}^2)/4(n\delta_{\text{т}} + \delta_{\text{п}}) \approx L_{\text{и}} \approx L_{\text{м}} \approx k_{\text{о.т}} v_p T_{\text{ж}} \approx L_{\text{т.м}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{ин.}}$ – коэффициент интенсификации процесса пропитки клеем тканевой оболочки за счёт вакуумирования, применения ультразвука и пр.; $T_{\text{всп.п}}$ – длительности вспомогательных операций, выполняемых при протягивании рукава, ч; $v_{\text{р.1наиб.}}$ – наибольшая допустимая рабочая скорость движения комбинированного рукава с однослойной тканевой оболочкой без интенсификации процесса её пропитки клеем, м/ч; v_p – скорость движения комбинированного рукава в трубопроводе, м/ч; n – число слоев ткани в оболочке; $L_{\text{б}}$, $L_{\text{и}}$, $L_{\text{м}}$, $L_{\text{т.м}}$ – наибольшая длина захватки, определяемая соответственно емкостью барабана по комбинированному рукаву с однослойной оболочкой, расстоянием до ближайшего изгиба, отвода или перехода трубопровода, ёмкостью реверс-машины и её тяговым усилием, м; $k_{\text{о.т}}$ – коэффициент организационно-технологической надёжности процесса ремонта, учитывающий непредвиденные остановки оборудования и ограниченную жизнеспособность полимерного состава (рекомендуется принимать $k_{\text{о.т}} =$

0,7–0,9); $T_{\text{ж}}$ – жизнеспособность полимерного состава, определяемая температурой его применения и типом отвердителя (при температуре окружающего воздуха 10–25 °С и отвердителе ПЭПА рекомендуется принимать $T_{\text{ж}} = 1$ ч, а при использовании отвердителя ЭТАЛ-45М – 2–3 ч); $F_{\text{т.р.}}$ – тяговое усилие реверс-машины, кН; D – внутренний диаметр трубопровода, м; $\delta_{\text{т}}$, $\delta_{\text{п}}$ – толщина ткани и пленки в составе комбинированного рукава, м; $f_{\text{п-т}}$, $f_{\text{п-п}}$ – коэффициенты трения скольжения полиэтилена по ткани и полиэтилена по полиэтилену; $\gamma_{\text{т}}$, $\gamma_{\text{п}}$ – объемные веса смоченной клеем ткани и пленки, кН/м³; $D_{\text{б}}$, $D_{\text{в}}$ – диаметры барабана и вала для намотки комбинированного рукава, м.

Из выражений (2, 3) вытекает стратегия разработки комплекса оборудования, технологии и организации работ: если какой-то один или несколько членов этого выражения существенно меньше других, то надо их или увеличивать до величины прочих (за счёт совершенствования конструкции оборудования и технологии ремонта), или снижать значения прочих членов (с целью исключения ненужных резервов и запасов). Следовательно, в общем случае, при проектировании оборудования и производства работ, выборе недостающего оборудования и технологических материалов целесообразно соблюдать условия равноэффективного проектирования в виде приближённых равенств (2, 3). Результаты исследования математической модели процесса в виде зависимости максимально возможной производительности (1) от длины захватки при различных числах слоёв и диаметрах трубопроводов показаны на рис. 3.

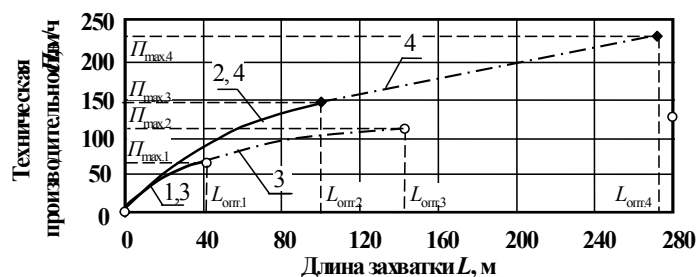


Рис. 3. Зависимости влияния длины захватки на техническую производительность комплекса оборудования для выполнения работ главного периода процесса бестраншейного ремонта трубопроводов способом комбинированного рукава при различных числах слоёв ткани и диаметрах трубопровода: 1 – $D = 0,2$ м, $n = 2$; 2 – $D = 0,2$ м, $n = 1$; 3 – $D = 0,4$ м, $n = 2$; 4 – $D = 0,4$ м, $n = 1$. При $k_{\text{н}} = 0,9$; $k_{\text{ин}} = 1,0$; $v_{\text{р1наиб.}} = 360$ м/ч; $L_{\text{м}} = 200$ м; $T_{\text{всп.р}} = 0,3$ ч; $p = 40$ кПа; $\delta_{\text{т}} = 0,0016$ м; $\delta_{\text{п}} = 0,0002$ м; $f_{\text{п-т}} = 0,2$; $p_{\text{т}} = 30$ кПа; $L_{\text{т.м}} = 0,2$ м; $f_{\text{п-п}} = 0,3$; $\gamma_{\text{т}} = 12,0$ кН/м³; $\gamma_{\text{п}} = 9,4$ кН/м³.

Ниже представлена основная часть экспериментальных зависимостей (рис. 4).

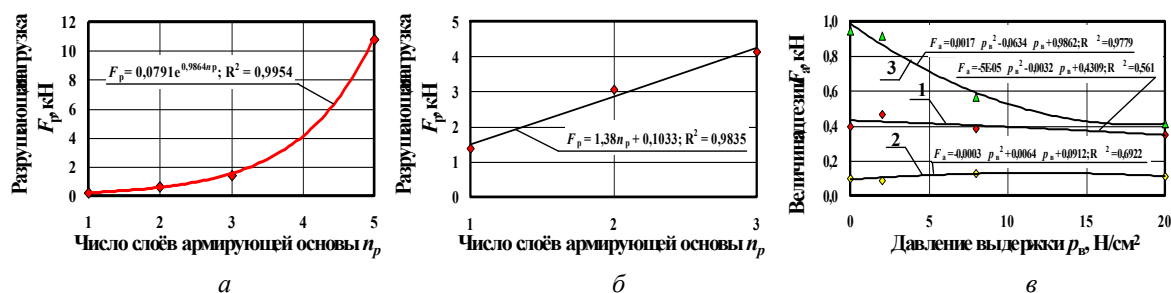


Рис. 4. Экспериментальные зависимости свойств полимерного композиционного покрытия, полученного с использованием фильтровальной полиамидной иглопробивной ткани (арт. 46035) с синтепоном 5 мм, смолы эпоксидной ЭД-20 и отвердителя ЭТАЛ 45-М: а – при трёхосном изгибе образцов размерами (150×19) мм, изготовленных с добавкой 10% ацетона, разрушающая нагрузка прикладывалась к безворсовой стороне, основа расположена параллельно образцам; б – растяжении образцов размерами (250×18) мм, изготовленных с добавкой 10% ацетона, основа расположена параллельно образцам; в – равномерном отрыве от металла модели трубопровода: 1 – смола ЭД-20, отвердитель ЭТАЛ-45 М с добавкой 10% ацетона; 2 – тоже, что и 1, но без растворителя; 3 – тоже, что и 2, но отвердитель ПЭПА.

Экспериментальные исследования включали установление зависимостей параметров процесса и уточнения коэффициентов, использованных при теоретических рас-

чётах. Кроме указанных на рис. 4, в результате проведённых экспериментов были получены также зависимости: прочности армирующей основы полимерного композиционного покрытия и плёночного рукава; линейной скорости перемещения рукава внутри трубопровода от параметров рукава; тяговых усилий реверс-машины от параметров рукава; давления выворота от параметров рукава; времени пропитки рукава от его параметров. На основании полученных зависимостей установлены оптимальные параметры процесса и даны практические рекомендации по применению рассмотренной технологии ремонта.

Для упрощения перебора независимых переменных при решении задачи оптимизации с учётом использования системного подхода и информационных технологий основные результаты исследования планируется объединить в единый алгоритм, представляющий собой последовательность действий с полученными уравнениями процесса (рис. 5).

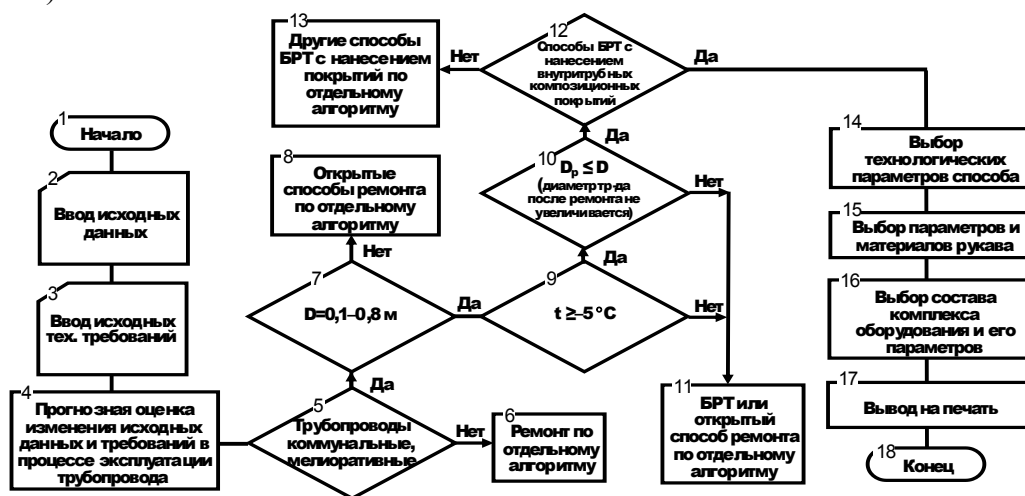


Рис. 5. Блок-схема алгоритма определения состава комплекса оборудования и его параметров, а также параметров технологии, комбинированного рукава и расхода технологических материалов, в блоки которого входит следующее: 2 – характеристика трубопровода (диаметр, размеры сквозных дефектов, остаточная толщина стенки, радиусы изгиба, характеристика отводов и переходов, материал, вид среды, её агрессивность, эксплуатационное давление); характеристика условий производства работ (температура наружного воздуха, уровень грунтовых вод и их агрессивность, наличие и величина блуждающих токов); 3 – расчётный срок эксплуатации трубопровода после ремонта, отсутствие вредных воздействий на транспортируемый продукт, необходимость увеличения диаметра трубопровода в процессе его ремонта; 14 – длина захватки, схема ремонта, скорость протяжки комбинированного рукава; 15 – длина, ширина, количество слоёв и толщина тканевой оболочки, толщина плёнки, марки технической ткани, плёнки, смолы, отвердителя и растворителя, соотношения между компонентами полимерного состава; 17 – производительность, срок работ, расход технологических материалов.

Таким образом, подводя итог, можно отметить следующее. Были созданы методика определения производительности и математическая модель процесса бестраншейного ремонта, позволяющая оптимизировать параметры оборудования с учётом основных факторов влияния. Впервые получено 5 условий для проектирования равноэффективных изделий комплекса оборудования. Применение разработанных методики и условий равноэффективного проектирования изделий комплекса ремонтного оборудования позволит находить резервы повышения его эффективности, оптимальные параметры работы и области рационального использования на стадиях проектирования, совершенствования и эксплуатации.