

Сибирский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
ООО НПФ «ИЗОТОР»
Сибирский федеральный университет

В.Н. Белобородов, А.Н. Ли, В.И. Емелин

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ БЕСТРАНШЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

Монография

Красноярск
СФУ
2010

ББК 39.71
УДК 621.643/646
Б43

Рецензенты:

Г.М. Бадын, д-р техн. наук, проф. Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

Ю.Ф. Стоян, канд. техн. наук. директор центра «Красноярскстройсертификация»

Белобородов, В.Н.

Отечественные бестраншейные технологии восстановления трубопроводов: монография / В.Н. Белобородов, А.Н. Ли, В.И. Емелин. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2010. – 220 с.

ISBN 978-5-7638-1980-9

Представлены новые и усовершенствованные технологии, оборудование и оснастка для бестраншного ремонта трубопроводов водоснабжения и канализации полимерными материалами. Разработки выполнены в Сибирском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации, ООО НПФ «Изотор» и Сибирском федеральном университете.

Предназначена для инженерно-технических работников, занятых проектированием, строительством и эксплуатацией трубопроводов водоснабжения и канализации, а также для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Ил.108, табл. 13, библиогр. 151 назв.

УДК 621.643/646

© В.Н. Белобородов, А.Н. Ли, В.И. Емелин, 2010

© Сибирский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

© Сибирский федеральный университет

ISBN 978-5-7638-1980-9

Редактор А.А. Назимова, Корректор Т.Е. Бастрыгина

Подписано к печати 15.04.2010. Формат 60x84/16. Бумага мелованная. Печать офсетная. Объем 13,75 п.л. Тираж 500 экз.
Заказ Редакция научной литературы Сибирского федерального университета. 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79
Отпечатано в типографии Элпром-принт, 660021, г.Красноярск, пр. Мира, 132. Тел.: (391) 2-529-525

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	6
Введение	10
1. Аналитический обзор восстановления трубопроводов бесстрапшевыми методами	15
1.1. Изоляция внутренней поверхности трубопроводов окрасочным способом	15
1.2. Нанесение цементно-песчаных покрытий	20
1.3. Изоляция внутренней поверхности трубопроводов оклеочным способом	21
1.4. Замена труб	24
1.5. Анализ существующих технологий восстановления трубопроводов	29
Выводы по главе 1	32
2. Подготовка внутренней поверхности трубопроводов к нанесению покрытий	34
2.1. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната	34
2.1.1. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната с помощью тора-разделителя	34
2.1.2. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната с помощью рукава	37
2.2. Очистка внутренней поверхности трубопровода	39
2.2.1. Химическая очистка	40
2.2.2. Гидродинамическая очистка	42
2.2.3. Механическая очистка с обеспыливанием	45
Выводы по главе 2	49
3. Технология нанесения окрасочных изоляционных покрытий на внутреннюю поверхность трубопроводов	51
3.1. Теоретическое обоснование условий движения качением тора-разделителя в трубопроводе	52
3.2. Определение зависимостей для прочностного расчета эластичного тора-разделителя	60
3.3. Изготовление торов-разделителей	71

3.4. Результаты исследования процесса движения тора внутри трубопровода	75
3.4.1. Определение оптимальных размеров тора	76
3.4.2. Определение оптимального давления воздуха в торах-разделителях и торах-уплотнителях	79
3.4.3. Определение скорости и разности давления воздуха в трубопроводе при перемещении торов-разделителей и защитного состава	80
3.5. Результаты отработки технологических параметров нанесения покрытий на внутреннюю поверхность трубопроводов окрасочным способом	85
3.6. Разработка оснастки и выбор оборудования для изоляции трубопроводов окрасочным способом	89
3.7. Организация работ по окрасочной изоляции трубопроводов в трассовых условиях	93
3.8. Выбор и исследование защитных окрасочных составов.....	101
3.8.1. Выбор полимерных материалов.....	103
3.8.2. Исследование жизнеспособности эпоксидных композиций	110
3.8.3. Разработка методики испытаний по ускоренному старению защитных полимерных покрытий	116
3.8.4. Приборы и оборудование для исследования защитных покрытий	122
3.8.5. Приборы и оборудование для определения физико-механических свойств материалов	127
3.8.6. Исследование физико-механических свойств полимерных защитных покрытий в процессе старения	133
Выводы по главе 3	139
4. Технологии нанесения рукавных покрытий на внутреннюю поверхность трубопроводов	141
4.1. Общие положения	141
4.2. Изготовление тканевых рукавов.....	144
4.2.1. Изготовление спиральных бесшовных рукавов	145
4.2.2. Изготовление одношовных рукавов с нахлестом	149
4.2.3. Изготовление одношовных рукавов без нахлеста.....	150

4.2.4. Изготовление двухшовных рукавов без нахлеста	152
4.3. Способы пропитки тканевых рукавов полимерным составом	153
4.3.1. Внешняя пропитка	157
4.3.2. Внутренняя пропитка	161
4.4. Способы изготовления комбинированного рукава	163
4.4.1. Полиэтиленовый рукав снаружи тканевой оболочки	163
4.4.2. Полиэтиленовый рукав внутри тканевого рукава	166
4.5. Телеинспекция трубопровода.....	168
4.6. Способы ввода комбинированного рукава в трубопровод	170
4.6.1. Ввод рукава с выворотом под давлением	170
4.6.2. Ввод рукава с выворотом под вакуумом	177
4.6.3. Ввод рукава без выворота	179
4.6.4. Ввод рукава с использованием торов-разделителей	182
4.7. Способы приклейвания тканевой оболочки к внутренней стенке трубопровода	185
4.8. Способыстыковки восстановленных участков трубопроводов.....	187
4.8.1. Сварочный способ соединения труб.....	188
4.8.2. Бессварочный способ соединения труб.....	190
4.9. Сравнение сметной стоимости восстановления трубопроводов по методам «Феникс» и «СибНИИГиМ».....	192
4.10. Внедрение отечественной бестраншейной технологии.....	193
Выводы по главе 4	195
5. Контроль качества производства работ	197
6. Перечень оборудования и оснастки для производства работ	199
7. Техника безопасности при производстве работ	201
Заключение	203
Список литературы.....	207
Сведения об авторах	219

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- a – $\frac{1}{2}$ радиуса или $\frac{1}{4}$ диаметра тора, м;
 b – зазор между расправляющим оболочку тором и трубопроводом, м;
 c – приведенная константа;
 c_1 – константа;
 c_2 – константа;
 c_m – константа, зависящая от материала;
 c_d – константа, характеризующая размер дефекта;
 c_{pr1} – приведенная константа;
 c_{pr2} – приведенная константа;
 D – внутренний диаметр восстанавливаемого трубопровода, м;
 D_t – диаметр тора, м;
 D_{tp} – диаметр тора, расправляющего тканевую оболочку рукава, м;
 d – дифференциал;
 E – модуль упругости материала покрытия при соответствующей температуре, МПа;
 F – сопротивление вводу рукава в трубу, H ;
 F_1 – сопротивление движению тканевой оболочки через пропиточную ванну, H ;
 F_2 – сопротивление движению комбинированного рукава через установку для его изготовления, H ;
 F_3 – сопротивление движению комбинированного рукава через пневмо- или гидрозатвор, H ;
 F_4 – сопротивление вывороту комбинированного рукава, H ;
 f – коэффициент трения скольжения покрышки тора по материалу трубопровода;
 $f_{п-п}$ – коэффициент трения скольжения полиэтилена по полиэтилену;
 $f_{р-с}$ – коэффициент трения скольжения резины по стали;
 G – масса защитного состава, нанесенного на внутреннюю поверхность трубопровода, кг;
 G_h – начальная масса полимерного состава с тарой, кг;
 $G_{T,3}$ – масса двух смоченных защитным составом торов-разделителей, кг;
 G_k – конечная масса полимерного состава с тарой, кг;

$G_{\text{г.с.}}$ – масса двух сухих торов-разделителей, H ;
 g – ускорение силы тяжести, $\text{м}^2/\text{с}$;
 g_1 – вес 1 м^2 тканевой оболочки, $H/\text{м}^2$;
 g_2 – вес пропиточного состава, приходящийся на 1 м^2 тканевой оболочки, $H/\text{м}^2$;
 g_3 – вес 1 м^2 полиэтиленового рукава, $H/\text{м}^2$;
 h – высота уровня заполнения трубы kleевым составом, м ;
 k – коэффициент, равный $0,05\text{--}0,06$;
 $k_{\text{к}}$ – коэффициент, включающий константы $c_{\text{м}}$ и $c_{\text{д}}$ и являющийся функцией концентрации веществ, а также их природы;
 $k_{\text{с}}$ – структурный коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений;
 k_y – коэффициент, учитывающий увеличение давления воздуха в торе при воздействии $p_{\text{дв}}$ и $R_{\text{т}}$;
 $k_{y,p}$, $k_{y,c}$ – коэффициенты усталости материала покрышки тора при циклической нагрузке на разрыв и смятие;
 $k_{\text{пер}}$ – коэффициент перенапряжения;
 $k_{\text{п. а}}$ – коэффициент, близкий по значению к периоду тепловых колебаний атомов ($10^{-11} \text{--} 10^{-14}$);
 L – начальное расстояние между торами-разделителями, м ;
 $L_{\text{тр}}$ – длина трубопровода, м ;
 l – длина цилиндрической части поверхности тора, м ;
 $l_{\text{н.о.}}$ – начальная длина образца, мм ;
 l_1 , l_2 – размеры элементарной площадки в покрышке тора, м ;
 $l_{\text{кр}}$ – длина комбинированного рукава, м ;
 $l_{\text{т.у.}}, l_{\text{т.р.}}$ – длины тора-уплотнителя и тора-разделителя, м ;
 N – долговечность в циклах нагружения-разгружения;
 $N_{\text{и}}$ – интенсивность излучения, $\text{кал}/\text{см}^2 \text{ ч}$;
 $N_{\text{т}}$ – тепловая мощность нагревателя воздуха, $\text{ккал}/\text{ч}$;
 n – количество поясов тора;
 p – давление воздуха в трубопроводе, МПа ;
 p_1, p_2 – давление воздуха под покрытием и над покрытием, МПа ;
 $p_{\text{а}}$ – атмосферное давление воздуха, МПа ;
 $p_{\text{вту}}$ – давление воздуха в торе-уплотнителе, МПа ;
 $p_{\text{вн}}$ – внутреннее давление воздуха в торе, МПа ;

$p_{\text{внутр}}$ – внутреннее давление воздуха в торе-разделителе, МПа;
 $p_{\text{п}}$ – давление жидкости на дно сосуда, МПа;
 $p_{\text{с}}$ – давление в среде между торами на уровне их оси, МПа;
 $Q_{\text{в}}$ – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $Q_{\text{з}}$ – расход защитного состава на 1 м^2 поверхности трубопровода, $\text{кг}/\text{м}^2$;
 R – усилие растяжения (испытательная нагрузка), Н;
 $R_{\text{п.н}}$ – полезная нагрузка на тор, Н;
 $R_{\text{т}}$ – реакция, приложенная к тору со стороны перемещаемой им среды, рабочих органов и т. п., Н; усилие растяжения, H ;
 S – площадь поперечного сечения трубопровода по внутреннему диаметру, м^2 ;
 S_3 – площадь заизолированной поверхности трубопровода, м^2 ;
 S_0 – площадь поперечного сечения образца, мм^2 ;
 $S_{\text{к}}$ – площадь контакта тора с внутренней поверхностью трубопровода, м^2 ;
 t – время, с;
 V – объем жидкости, м^3 ;
 v – расчетный объем защитного состава, л;
 v – скорость движения тора-разделителя, $\text{м}/\text{с}$;
 v_3 – заданная скорость движения тора-разделителя, $\text{м}/\text{с}$;
 $v_{\text{к.р}}$ – скорость ввода комбинированного рукава в трубопровод, $\text{м}/\text{с}$;
 v_{σ} – скорость приложения разрушающего напряжения, $\text{МПа}/\text{с}$;
 W_a – энергия активации, Дж;
 $W_{\text{ап}}$ – энергия активации разрушения, Дж;
 $W_{\text{а.разр}}$ – энергия активации разрыва, Дж;
 W_{ρ} – энергия реакции, Дж;
 α – элементарный объем разрушения;
 $\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{с}}$ – температурные коэффициенты линейного расширения полимера и стали, град^{-1} ;
 $\alpha_{\text{п}}$ – температурный коэффициент линейного расширения, град^{-1} ;
 γ – плотность полимерного состава, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 Δl_0 – удлинение образца, мм;
 ΔT – разность температур, $^{\circ}\text{C}$;
 $\delta_{\text{п}}$ – толщина покрышки тора, м;

$\delta_{\text{пок}}$ – толщина покрытия, мм;
 ξ – относительное удлинение полимера, %;
 η – условная вязкость полимерного состава, сек;
 θ – угол изгиба элементарной площадки поверхности тора в поперечном направлении, град;
 μ – коэффициент Пуассона;
 $r_{\text{пр}}, r_{\text{п}}$ – радиусы изгиба покрышки тора в продольной и поперечной плоскостях, м;
 τ – долговечность;
 τ_0 – время отверждения покрытия, ч;
 σ_a – величина адгезии покрытия с металлом, МПа;
 σ_k – напряжение на контакте полимер-металл, МПа;
 $\sigma_{\text{мг}}$ – мгновенная прочность, МПа;
 σ_0 – начальная прочность, МПа;
 $\sigma_{\text{пр}}, \sigma_{\text{поп}}$ – продольные и поперечные напряжения в покрышке тора, Па;
 $\sigma_{\text{прив}}$ – приведенная полезная прочность, МПа;
 σ_n – нормальные напряжения в покрышке тора, Па;
 σ_p – напряжения в покрытии, МПа;
 $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение на разрыв материала покрышки, Па;
 $[\sigma]_{\text{см}}$ – допускаемые напряжения на смятие материала покрышки, Па;
 σ_p – прочность полимера на растяжение, МПа;
 ψ – угол изгиба элементарной площадки поверхности тора в продольном направлении, град;
 D_y – диаметр условного прохода трубопровода, мм.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность монографии обусловлена большой протяжённостью трубопроводов в России, их высоким износом и значительными объемами ремонтных работ. Сказанное подтверждается следующими фактами: трубопроводный транспорт России по суммарной протяженности наружных сетей (2,4 млн. км) занимает 1-е место, превышая длину автомобильных дорог (753 тыс. км) более чем в 3 раза, а железнодорожных (86 тыс. км) – в 28 раз.

По объему перемещаемой продукции трубопроводы также уверенно лидируют, в 135 раз опережая железнодорожный и автомобильный транспорт вместе взятые. Однако, несмотря на свою эффективность и широкое распространение, состояние водопроводящих и канализационных сетей в России достигло критической отметки и угрожает экологической безопасности страны. Большинство трубопроводов эксплуатируется со степенью износа 70–80 %. Аварийность на таких сетях с каждым годом растёт, а утечки приносят стране огромный экономический и экологический ущерб. Единственный выход из сложившейся ситуации - снижение затрат, увеличение объемов и темпов ремонта подземных трубопроводов. Применяемые траншейные (открытые) способы ремонта трубопроводов осуществить это не в состоянии, так как сопряжены с выполнением большого объема земляных работ, перекрытием транспортных потоков, разрушением и последующим восстановлением дорожных покрытий, повреждением зеленых насаждений и т. д.

Известные методы защиты внутренней поверхности трубопроводов, включающие нанесение изоляции в заводских условиях с последующей транспортировкой и укладкой труб в проектное положение, не обеспечивают высокой надежности и долговечности трубопроводов, так как при данной технологии существует боль-

шая вероятность нарушения изоляции еще на стадии строительства. Кроме этого, при существующей технологии не решен вопрос изоляции внутренней поверхности стыков после сварки труб.

Внедрение более производительных и дешевых, по сравнению с открытой технологией, бестраншейных способов ремонта трубопроводов является решением этой проблемы.

В Англии, Германии, Франции, Италии, Дании, США и других странах накоплен значительный опыт по реконструкции подземных трубопроводов бестраншевыми методами. Они позволяют существенно сократить сроки строительных работ, исключить на 80–90 % разрытие территорий, получить большую экономию металлических труб, горюче-смазочных и строительных материалов.

В настоящее время известны две группы способов бестраншевого ремонта трубопроводов:

- 1) с разрушением старого трубопровода, его расширением и протяжкой в образовавшуюся скважину новой пластмассовой трубы;
- 2) с нанесением внутренних покрытий без разрушения старой трубы.

Из способов 2-й группы в России применяется несколько зарубежных вариантов рукавной технологии санации трубопроводов. При этом для облицовки внутренней поверхности используют полимерный рукав с жидким клеевым слоем. Рукав прижимают к стенкам трубопровода и отверждают клей перегретым паром либо горячей водой (метод Phoenix).

Зарубежный и отечественный опыт использования полимерных рукавов при восстановлении трубопроводов показывает их эффективность и надёжность. Однако сдерживающими факторами их применения в России являются высокая стоимость рукавов, большие энергозатраты и габариты оборудования, создающие значи-

тельные трудности при переброске его на большие расстояния, характерные для России.

Цель работы заключается в совершенствовании методов защиты внутренней поверхности трубопроводов и их восстановлении на основе разработки технологий и комплекса оборудования для бесштраншного ремонта посредством нанесения внутренних полимерных покрытий окрасочным и оклеечным способами.

Достижение этой цели связано с постановкой и решением следующих задач:

- обосновать возможность нанесения полимерного защитного покрытия на внутреннюю поверхность труб;
- установить основные закономерности условия движения топров-разделителей в трубе;
- исследовать условия введения и оклеивания внутренней поверхности труб тканью, пропитанной kleящим полимерным составом;
- обосновать технологические параметры процесса нанесения окрасочной и оклеечной изоляции на внутреннюю поверхность труб;
- разработать технологии, необходимое оборудование и оснастку для внутренней изоляции трубопроводов в стационарных и трассовых условиях;

В результате исследований обоснованы основные параметры технологических процессов и оборудования, получены зависимости, необходимые для прочностных и тяговых расчетов эластичных торообразных устройств, комбинированных рукавов и оборудования, а также выбраны и исследованы материалы для окрасочной и оклеечной изоляции внутренней поверхности трубопроводов.

Монография явилась обобщением ряда отдельных работ авторов [1–10], опубликованных в виде отдельных статей в центральных изданиях. Научная новизна этих работ выражается в совокуп-

ности установленных закономерностей и зависимостей основных целевых функций (тяговое усилие, прочность, давление и расход воздуха, расход материалов и др.) от факторов влияния объекта, технологии, оборудования, условий производства работ (от диаметра трубопровода, толщины полиэтиленовой пленки и технической ткани, скорости движения рукава, температуры воздуха в трубопроводе и пр.). Техническая новизна разработанных технологий и оборудования подтверждена двенадцатью патентами и двумя авторскими свидетельствами на изобретения [11–22].

В данной книге представлены новые и усовершенствованные методы восстановления трубопроводов и их защиты от коррозии полимерными материалами с применением способов окрашивания торообразными устройствами и оклеивания комбинированными рукавами. Технологии, оборудование и оснастка разработаны в Сибирском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации, научно-производственной фирме «Изотор» и Сибирском федеральном университете. Опытно-производственная проверка и внедрение этих разработок проводились на трубопроводах Есаульской оросительной системы, водопроводах Дивногорска, Канска, Саяногорска, на станции Красноярск-Восточный и под взлетной полосой аэропорта Домодедово (Москва).

Отечественная бестраншейная технология восстановления трубопроводов, представлялась на ВВЦ в г. Москве и на Красноярской ярмарке, а также на сетевом семинаре-совещании по внедрению ресурсосберегающих технологий в теплоэнергетике и системах водоснабжения хозяйства гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения железных дорог.

Считаем своим долгом выразить огромную благодарность за поддержку и помошь в практической реализации наших исследований по восстановлению трубопроводов бестраншевым методом: директорам института «СибНИИГиМ» заслуженному мелиоратору

России **В.Т. Савченко** и В.Д. Кулигину, начальнику Краевого управления «Красноярскмеливодхоз», заслуженному мелиоратору России Г.Н. Долматову, заведующему лабораторией Академии нефти и газа им. И.М. Губкина А.Э. Чеботаревскому, начальнику Дирекции по тепловодоснабжению, Красноярской железной дороги-филиала ОАО «РЖД» Н.И. Гамалею и мастеру КПУ А.Н. Миньченкову, директору Дивногорского «Водоканала» В.М. Огурцову, начальнику РТС-4 филиала Красноярская теплосеть ОАО «Красноярскэнерго» В.В. Садовникову, главному инженеру Канского «Водоканала» Е.В. Пимонову, руководителям ООО «Сибтрансспецстрой» В.С. Дмитриеву и А.И. Сюзеву.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ БЕСТРАНШЕЙНЫМИ МЕТОДАМИ

Под бестраншевыми методами понимаются технологии прокладки трубопроводов, их замены и ремонта, а также инспекции и обнаружения дефектов в подземных коммуникациях различного назначения с минимальным вскрытием земной поверхности. Зарубежный и отечественный опыт использования этих методов при восстановлении трубопроводов показывает их эффективность и надежность.

В соответствии с международной классификацией внутренние защитные и восстановительные покрытия в трубопроводах могут выполняться в виде набрызговых оболочек, сплошных слоев, спиральных оболочек и точечных (местных) покрытий [23]. Существующие бестраншевые методы защиты и восстановления трубопроводов можно разделить на четыре группы:

- 1) изоляция внутренней поверхности трубопроводов окрасочным способом;
- 2) нанесение цементно-песчаного покрытия;
- 3) изоляция внутренней поверхности трубопроводов оклеечным способом;
- 4) замена труб.

1.1. Изоляция внутренней поверхности трубопроводов окрасочным способом

К первой группе способов относится нанесение жидкого изолирующего состава на внутреннюю поверхность труб способом окрашивания с использованием покрывных пробок [24].

Существует два вида защиты металлических сооружений от коррозии: пассивная и активная. К пассивным видам защиты отно-

сится изоляция металла сооружения от непосредственного контакта с внешней средой с помощью специальных изоляционных покрытий или красителей, наносимых на поверхность сооружения во всех его точках. Активной защитой трубопровода от коррозии является наложение на трубопровод электрического потенциала, отрицательного по отношению к окружающей среде. Этот способ носит название "Электрохимическая защита ". В.И. Хамармер [73] отмечает, что оба способа тесно взаимосвязаны и эффективность электрохимической защиты существенно зависит от качества пассивной защиты трубопровода. До настоящего времени метод защитного тока для внутренней защиты трубопроводов применялся редко, так как он конструктивно сложен, требует использования дорогостоящего анодного материала и высокой культуры обслуживания. Неправильное конструктивное решение защиты может усилить коррозию металлических материалов [73] .

Известны два направления повышения стойкости и долговечности стальных труб:

- повышение качества трубного металла, улучшение технологии их изготовления, применение упрочняющей термообработки и т.д.;
- устройство противокоррозионных защитных покрытий на внешней и внутренней поверхностях труб.

Если изоляция внешней поверхности труб не вызывает особых затруднений при строительстве трубопроводов, то при изоляции внутренней поверхности трубопроводов возникает масса проблем. Это связано со строительством специальных заводов или стационаров по внутренней изоляции труб, особыми требованиями к материалу защитного покрытия, к погрузочно-разгрузочным работам и перевозкам, к хранению и монтажу изолированных труб.

По данным В.Л. Гоца [24], все используемые в промышленности способы окрашивания внутренних поверхностей изделий, в том числе труб, могут быть разбиты на пять основных групп (табл. 1.1):

- 1) подача дозированного количества краски на единицу поверхности;
- 2) подача избыточного количества краски и его свободное распределение по поверхности при стекании излишков;
- 3) подача избыточного количества краски в трубу и его механическое распределение по поверхности при стекании излишков;
- 4) подача избыточного количества краски в трубу и механическое ее распределение по поверхности с принудительным удалением излишков;
- 5) подача избыточного количества краски в трубу и ее распределение по поверхности в результате электрического взаимодействия.

Из перечисленных способов представляет интерес группа 4.

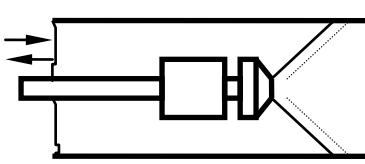
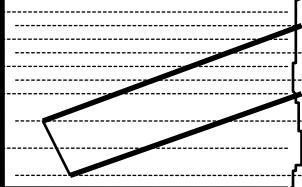
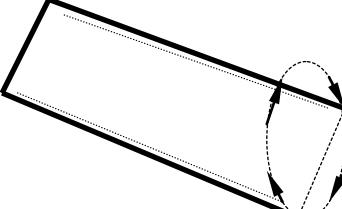
Нанесение краски на внутреннюю поверхность труб с использованием покрывных пробок. Применяя этот способ, поверхность трубы покрывают тонким слоем лакокрасочного материала, выдавливаемого в кольцевой зазор между трущимися поверхностями при перемещении пробок и заключенного между ними лакокрасочного состава по трубе. Международным лидером в практическом использовании данного метода является фирма Magnaflux.

Способ с использованием покрывных пробок может быть применен для нанесения покрытий на внутреннюю поверхность как отдельных труб, так и трубопроводов значительной протяженности.

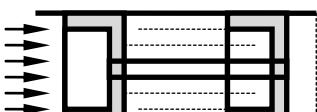
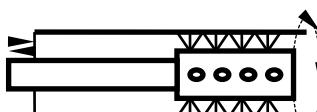
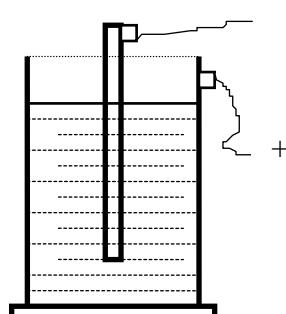
Набрызговые покрытия на основе эпоксидных смол. Этот метод основан на разбрызгивании смеси при помощи центрифугирования. Покрытие состоит из эпоксидной смолы с добавками стекловолокна. Оба этих метода в основном применяются за рубежом и не нашли широкого распространения в России.

Таблица 1.1

Способы нанесения окрасочных составов на внутреннюю поверхность труб

№ п/п	Характери- стика груп- пы способов	Способ нанесения краски	Принципиальная схема	Описание способа
1	2	3	4	5
1	Подача дози- рованного ко- личества краски на единицу по- верхности	Пневматиче- ское распыле- ние, гидравли- ческое распы- ление, центро- бежное распы- ление		Краска подается на поверхность из распыляющей системы при ее перемещении в трубе
2	Подача избы- точного ко- личества краски и его свободное распределение по по- верхности при стекании излишков	Окунание		Трубу погружают в ванну, заполненную краской, поднимают и выдерживают для стекания излишков
3	Подача избы- точного ко- личества краски в тру- бу и его ме- ханическое распределение по по- верхности при стекании излишков	Наливом (спо- соб центро- бежной окра- ски)		Определенное количество краски заливается в трубу и распределяется по поверхности при ее вращении

Окончание табл. 1.1.

1	2	3	4	5
4	Подача избыточного количества краски в трубу и ее механическое распределение по поверхности с принудительным удалением излишков	С помощью покрывных пробок		Краску заливают между двумя пробками, установленными внутри трубы, затем пробки прогоняются в трубе
4 ¹	То же	Обливом		Краска подается на поверхность трубы из отверстий перемещающегося устройства и щетками распределяется по поверхности
5	Подача избыточного количества краски в трубу и ее распределение по поверхности в результате электрического взаимодействия	Электрофо-резом		Краску заливают в трубу, служащую одновременно анодом. Катодом является медный цилиндр, перемещаемый внутри трубы. При пропускании тока краска оседает на поверхности трубы

В **СибНИИГиМе** авторами разработан и апробирован рассматриваемый в этой книге, наряду с другими, метод окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов с применением торов-разделителей, метод заключается в том, что для получения качественного защитного покрытия через трубопровод пропускают устройство, включающее пару торов-разделителей, между которыми находится защитный состав, заполняющий объем между ними. Устройство перемещается за счет создания разности давлений воздуха в трубопроводе. При этом торы-разделители перекрывают трубу в поперечном сечении и перекатываются внутри трубопровода без трения скольжения. Защитный состав, заключенный между торами-разделителями, смачивает участок трубы по всему ее периметру, при этом след из защитного состава, оставляемый на внутренней поверхности трубопровода после прохождения устройства, является изолирующим покрытием.

1.2. Нанесение цементно-песчаных покрытий

Метод ZM (Германия) [23, 25, 64, 69, 85] применяется для восстановления стальных водоводов диаметром 100–250 мм. Цементный раствор под давлением подается в кольцевой зазор между опалубкой и внутренней поверхностью трубы. Таким методом за один проход можно восстановить участок трубопровода длиной до 50 м.

Метод Taite (Австралия, Великобритания) используется для восстановления стальных, чугунных, бетонных водопроводных и канализационных трубопроводов диаметром 75–600 мм. Цементный раствор подают в пространство между поршнем пресса и корпусом вкладыша (расширителя). При протяжке последнего по трубопроводу происходит плотное прижатие раствора к стенке трубы и его заглаживание.

Метод Preloud (США) обеспечивает восстановление чугунных, стальных, бетонных и керамических трубопроводов диаметром до 600 мм. Этот метод представляет собой механизированный набрызг и разравнивание цементного раствора по внутренней поверхности трубы. За один проход можно восстановить участок трубопровода длиной от 100 до 300 м [25].

1.3. Изоляция внутренней поверхности трубопроводов оклеечным способом

Метод "Феникс" [26, 55] применяется для восстановления водопроводных и канализационных трубопроводов из различных материалов, включая стальные. Чулок "Феникс" – это пропитанный смолой рукав из полиэстера, покрытый полиэтиленом. Используемый материал чулка после отверждения смолы способен выдерживать такое же давление, как и существующая труба. Восстановление трубопровода по методу "Феникс" выполняется с помощью чулка, который вводится в существующую трубу под действием сжатого воздуха, а затем отверждается паром. После отверждения чулок плотно прилегает к внутренней поверхности старой трубы. Этот метод является экономически целесообразным при восстановлении водопроводных сетей, поскольку чулок обеспечивает надежную герметизацию всех течей, а также перекрывает отводы для несанкционированного забора воды.

Неучтенные потери воды при использовании этого метода сокращаются до минимума. В течение более 25 лет рассматриваемый метод применяется в большинстве европейских стран для восстановления газовых, водопроводных и канализационных сетей, а также для ремонта трубопроводов, транспортирующих химически активные вещества. Метод "Феникс" также применяется для вос-

становления газопроводов низкого давления диаметром от 100 до 1000 мм.

Чулок "Феникс" покрыт гидрофобным составом. Два ролика, расположенные на инверсионной установке, наносят смолу равномерно по всей длине чулка из полиэстера. Чулок вводится в поврежденную трубу под действием сжатого воздуха. Выворачивание чулка изнутри в сочетании с давлением сжатого воздуха обеспечивает плотное прилегание чулка к внутренней поверхности старой трубы. Чулок проходит все изгибы и создает плавный переход в местах изломов, смещений и прочих дефектов. Давление воздуха удерживается до тех пор, пока смола не затвердеет. Ускорение процесса затвердевания обеспечивается необходимой подачей пара. Рассмотренный метод эффективно предотвращает развитие процесса коррозии.

Чулок для вертикальных трубопроводов. Метод восстановления трубопроводов с помощью мягкого чулка используется не только для ремонта подземных магистралей. Компания **Per Aarsleff A/S** разработала технологию использования этого метода для восстановления наземных вертикальных трубопроводов, включая вентиляционные воздуховоды, сливные трубы, поверхностные дренажные трубопроводы, пускные желоба, а также дымовые трубы каминов, используемые для вентиляции. При этом применение традиционных способов реконструкции может оказаться проблематичным, если вертикальные трубопроводы встроены в кирпичные или бетонные стены. Значительное преимущество использования мягкого чулка заключается в том, что нет необходимости разрушать стены. Следовательно, необходимость в ремонте зданий из-за ремонта трубопроводов исключается. Этот метод является идеальным для всех типов зданий - от жилых домов до офисных и промышленных построек.

Метод Insituform (Великобритания) позволяет восстанавливать трубы из любого материала и различных диаметров на длину до 200 м. При этом рукав, который изготовлен из нетканого синтетического полотна, ламинированного синтетической пленкой и пропитанного полимерной композицией холодного или горячего отверждения, вводится в дефектный трубопровод и проталкивается под давлением воды. Толщина материала рукава, в зависимости от диаметра трубы, колеблется от 5 до 25 мм. Благодаря этому после отверждения полимерной композиции в трубе образуется жесткая несущая конструкция, не требующая обязательного приклеивания к стенкам трубы. До начала восстановительных работ удаляются все возможные отложения, такие, как жир и т. п., а боковые отводы открываются после завершения работ.

Метод Insituform может быть также применен вместо традиционных методов при реконструкции исторических зданий, требующих сохранения их архитектурного облика.

Восстановление и реконструкция вертикальных трубопроводов выполняются с помощью мягкого чулка, который вводится в поврежденный трубопровод под действием сжатого воздуха. Специально разработанное оборудование позволяет выполнять такие работы в кратчайшие сроки, причем даже в узких дворах или других территориально-ограниченных площадях.

Мягкий чулок для восстановления трубопроводов способом PSL [26]. После нескольких лет напряженной работы отдел восстановления трубопроводов компании **Per Aarsleff A/S** смог представить метод ремонта трубопроводов, называемый **PSL** (мягкий чулок для напорной трубы). Этот метод подходит для восстановления трубопроводов питьевой и технической воды, а также труб большого диаметра, пораженных коррозией.

Центральным элементом метода **PSL** является изготовленный по индивидуальному заказу чулок из кислотоупорного волокна, ко-

торое армировано пропитанным смолой стекловолокном, а внутренняя поверхность чулка покрыта полиэтиленом. Чулок вводится в старую трубу под давлением воды, после чего полимерный состав вулканизируется паром.

Мягкий чулок для напорной трубы **PSL** отличается большой гибкостью, может плавно проходить все изгибы, что обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление, высокую производительность и надежность работы сети.

1.4. Замена труб

Метод разрушения старого трубопровода [10, 23, 25–27, 62, 85, 94]. Деформированные или исчерпавшие свой ресурс трубы могут быть восстановлены с помощью метода разрушения старого трубопровода. Разрушение трубопровода выполняют динамическим или статическим способами.

Существующие трубы заменяются новыми такого же или большего диаметра (если в этом есть необходимость). В методе разрушения старого трубопровода динамическим способом используется пробойник, соединенный с новой трубой. Он протягивается через существующую трубу, разрушает ее и заменяет новой полиэтиленовой трубой.

Существуют различные типы пробойников, при этом выбор какого-то одного из них зависит от состояния грунта и технологии работ.

Замена трубопровода статическим способом с использованием гидродомкрата происходит по следующей схеме: в начале и конце заменяемого участка трубопровода выкапываются два приямка; во входном приямке в отверстие трубы вставляется насадка-расширитель с ножами, к которой прикреплен новый трубопровод. В выходном приямке монтируется гидродомкрат, к которому при

помощи штанги, протянутой через заменяемый участок трубопровода, крепится насадка-расширитель. Под воздействием усилия гидродомкрата насадка-расширитель движется по старому трубопроводу, разламывает его, втрамбовывает осколки в грунт и затягивает в образовавшуюся скважину новый трубопровод.

Статический метод с оборудованием для его реализации предлагается фирмами **MaxiBurst**, **TractoTechnic**, **Ditch Witch** и др. Благодаря мощному силовому воздействию гидродомкратов замена трубопроводов может осуществляться в широком диапазоне их диаметров практически в любом типе грунтов, в различных, в том числе и сложных, условиях. Однако метод замены при помощи гидродомкрата является сложным по техническому исполнению и требует проведения земляных работ по устройству приямков. Скорость замены трубопровода данным методом сравнительно невысокая.

При длине заменяемого участка более 100 м из-за высокой силы трения, возникающей на поверхности вновь укладываемых полиэтиленовых труб, возможна деформация их соединений. Поскольку исправить такое разрушение после укладки практически невозможно, то при монтаже необходимо предварительно протянуть на участке металлический футляр, в который затем устанавливают полиэтиленовую трубу.

При использовании пневмопробойников трубопровод заменяют следующим способом: во входном колодце размещается ударный механизм (пневмопробойник) со смонтированной специальной насадкой-расширителем. К пневмопробойнику присоединяются воздухоподводящий шланг от компрессорной установки и трос от пневматической лебедки, протянутый через заменяемый участок трубопровода. При движении по заменяемому трубопроводу пневмопробойник разламывает его, втрамбовывает осколки в грунт и затягивает в образующуюся скважину новый трубопровод, который

наращивают секциями во входном колодце. Эта технология позволяет производить замену стальных, чугунных и неметаллических трубопроводов диаметром от 100 до 350 мм (в зависимости от применяемой насадки-расширителя) пластмассовыми трубами диаметром от 160 до 400 мм [27].

Восстановление и реконструкцию трубопроводов при помощи пневмопробойников с некоторыми технологическими различиями осуществляют компании **G.U. Essig** и **TractoTechnic** (Германия).

Богатый опыт применения данной технологии накоплен в **Институте Горного дела СО РАН** и **ООО НПК "Комбест"** (Россия, г.Новосибирск). Оборудование, разработанное этими организациями применяется во многих городах России, которое по многим показателям превосходят зарубежные образцы.

Метод без разрушения старой трубы. Метод "Труба в трубе" идеален для реконструкции трубопроводов бестраншейными методами.

Новая полиэтиленовая труба РЕН протягивается либо проталкивается в старый поврежденный трубопровод из траншеи, вырытой в начале дефектного участка трубопровода. Перед укладкой на место новые полиэтиленовые трубы, как правило, на поверхности свариваются в плети. Использование метода "Труба в трубе" позволяет протягивать в старый трубопровод новые участки труб длиной в несколько сотен метров при минимальном объеме земляных работ. Данный метод применяется в основном для реконструкции прямолинейных участков трубопроводов большого диаметра.

Метод Swageling (Великобритания, **British Gas**) используется при ремонте водопроводов диаметром 85–800 мм. При этом происходит протаскивание полиэтиленового трубопровода через отверстие обжимного устройства меньшего диаметра и затягивание трубы после обжатия внутрь ремонтируемого интервала трубопровода одновременно при помощи одной мощной лебедки. Номи-

нальное усилие лебедки достигает 50 т. Скорость обжатия полиэтиленовых труб и соответственно, их затягивания в ремонтируемый трубопровод обычно составляет 2–3 м в минуту. В целях снижения усилия на канате используют специальное гидравлическое устройство, проталкивающее полиэтиленовую трубу внутрь трубопровода, а также обмазку водной или масляной эмульсией после прохода трубы-облицовки через фильтеру.

Метод U-Liners (Германия) представляет собой протяжку через существующий трубопровод высокопрочной полиэтиленовой трубы. Метод применим для чугунных, стальных водопроводных и канализационных труб диаметром 100–400 мм. За одну операцию может быть санкционирован участок трубопровода длиной до 600 м.

Полиэтиленовую трубу термомеханическим путем приводят в U-образную форму, значительно сокращающую поперечное сечение, и наматывают на барабан для транспортировки. После втягивания с помощью лебедки в санируемый участок полиэтиленовая труба обрезают до нужной длины и с обеих сторон закрывают специальными задвижками. При подаче в этот трубопровод сжатой паровоздушной смеси трубы U-Liners расширяется до своей первоначальной формы и происходит ее плотное прилегание к стенкам старого трубопровода.

Метод Upex разработан английской фирмой **Uponor** совместно с компанией British Gas. При этом методе применяются стандартные трубы из полипропиленов PE-80 и PE-100 средней и высокой плотности. Согласно имеющимся публикациям чаще используются трубы с показателем отношения наружного диаметра к толщине стенки в диапазоне от 11 до 47. Этот показатель является важным критерием при выборе облицовочной трубы и в значительной степени зависит от прочности ремонтируемого трубопровода и величины рабочего давления внутри трубы. Если прочностное состояние трубы не требует ее структурного восстановления, то возможно

применение полиэтиленовых труб с меньшей толщиной стенки. Полиэтиленовые трубы выбираются так, чтобы их исходный наружный диаметр был несколько больше, чем внутренний диаметр ремонтируемого трубопровода. После выполнения операций по временному уменьшению наружного диаметра полиэтиленовых труб они свободно протягиваются через трубопровод на длину ремонтируемого интервала. При этом отдельные полиэтиленовые трубы предварительно свариваются между собой встык способом контактной сварки в единую плеть на всю длину этого интервала.

Метод Upex используется для ремонта трубопроводов малых диаметров. Полиэтиленовые трубы в результате пропуска через фильтру уменьшаются в диаметре примерно на 25 %. В таком виде они свариваются между собой и наматываются на барабаны для доставки на стройплощадку, где с помощью лебедок сматываются и затягиваются внутрь ремонтируемого водопровода. Облицовка нагревается изнутри теплым воздухом и расширяется до плотного прилегания к стенкам трубопровода.

Метод **Rolldawn** (Великобритания, совместная разработка фирм Subterra и SLP на основе патента фирмы Stewart's and Lloyd's plastic). Его основное отличие от других методов заключается в том, что процесс обжатия наружного диаметра полиэтиленовой трубы и затягивания ее в ремонтируемый трубопровод выполняются независимо друг от друга. Причем затягивание может производиться как сразу после обжатия, так и в течение двух-трех последующих дней, что делает график выполнения работ на объекте менее напряженным.

Кроме того, этот метод предусматривает в дополнение к внутренним пружнящим свойствам полиэтиленовых труб процесс принудительного разжатия облицовки внутри трубопровода с помощью воды под давлением. При этом сначала торцевые участки полиэтиленовых труб разжимаются механически до плотного при-

легания к телу трубопровода и заглушаются, после чего облицовка заполняется горячей водой.

Процесс разжатия происходит плавно на всей длине ремонтируемого трубопровода примерно в течение одного дня, обеспечивая плотное прилегание облицовки к стенкам трубопровода. Метод Rolldawn рекомендуется для ремонта трубопроводов в диапазоне диаметров 100–500 мм. При этом уменьшение диаметра старого трубопровода достигает 10 % от первоначального размера [27].

1.5. Анализ существующих технологий восстановления трубопроводов

В перспективе при реконструкции трубопроводов старые металлические трубы будут заменены на полимерные или трубы с внутренней изоляцией, обеспечивающей качество воды и повышенный срок службы трубопроводов.

В крупных городах невозможно провести полную замену труб открытым способом, это связано со стесненными городскими условиями и большой насыщенностью городских территорий различными коммуникациями. Применение открытых способов ремонта и перекладки трубопроводов в этих случаях стало почти невозможным или требует больших капиталовложений. Поэтому для ремонта старых трубопроводов будут применяться бестраншейные технологии.

Большое разнообразие существующих методов восстановления трубопроводов обусловлено тем, что каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, причем ни один из них не может быть использован как универсальный. Различное назначение и конструктивное исполнение трубопроводных систем также диктует свои требования.

Применение покрывных пробок, особенно при малом числе слоев покрытия, защищает трубу от коррозии, но не обеспечивает устранение сквозных дефектов и тем самым – высокое качество ремонта. Это объясняется тем, что толщина покрытия невелика и в большой степени зависит от давления эластичных манжет пробок на окрашиваемую поверхность.

С увеличением диаметра покрывной пробки, вставляемой в трубу, ее давление на поверхность будет возрастать, а толщина покрытия при окрашивании будет уменьшаться. При малом диаметре пробки между ней и поверхностью трубы образуется зазор, через который возможно свободное вытекание изолируемого состава и образование подтеков полимерного состава на внутренней поверхности трубы.

Согласно данным отечественных ГОСТов на трубы отклонение их внутреннего диаметра от номинального размера достигает $\pm 3-5$ мм. Такие изменения соотношения диаметров покровной пробки и окрашиваемой трубы вызывают большие колебания величины давления, а следовательно, и толщины получаемого покрытия с появлением на поверхности как подтеков, так и не прокрашенных мест. К подобным результатам приводят также имеющиеся на трубах швы или раковины, овальность трубы и другие дефекты.

Неравномерность слоя защитного состава, наносимого на внутреннюю поверхность, и образующиеся при этом дефекты (наплывы и подтеки) не только снижают качество получаемого покрытия, но и приводят к появлению скрытых потерь его состава.

Разработанный авторами на базе СибНИИГиМа и рассматриваемый в третьей главе способ окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов с применением торов-разделителей исключает большинство недостатков известной технологии окраски покрывными пробками.

Анализ существующих методов изоляции внутренней поверхности труб рукавными материалами выявил ряд проблем, связанных с подготовкой тканевого рукава, качеством его приклеивания к внутренней поверхности трубопровода и способом ввода в трубу. Если диаметр рукава будет меньше диаметра трубы, то рукав не приклейится по всему периметру трубопровода и при избыточном давлении может порваться, что снизит эффективность изоляции. Если диаметр рукава будет больше диаметра трубы, то образуются складки, создающие препятствия и потери напора транспортируемого продукта по трубопроводу.

При существующих технологиях изоляции труб в стационарных условиях с последующей транспортировкой и укладкой их в проектное положение остается нерешенным вопрос защиты внутренней поверхности труб на участках после сварки их стыков.

Методы, при которых в старый трубопровод втягивают пластмассовую трубу, имея хорошие результаты санирования, тем не менее не позволяют проходить углы поворота и местные сужения труб. Следует отметить также, что изготовление пластмассовой трубы нужного диаметра нередко затруднено или даже невозможно, так как диапазон диаметров трубопроводов, требующих ремонта, достаточно широк.

Рукавные технологии допускают прохождение угла поворота до 30^0 , а при специальных технологических приемах и несколько поворотов.

Изготовление рукава менее трудоемко, чем изготовление пластмассовой трубы, поэтому рукав возможно изготавливать практически любого диаметра. В то же время конструкции рукавов с пленочным покрытием не обладают несущей способностью и требуют очень тщательной очистки внутренней поверхности восстановляемого трубопровода для обеспечения качественной приклейки

рукава. В случае плохой очистки возможен срыв рукава и закупорка трубопровода.

Конструкции многослойных или тканевых набитых синтепоном рукавов без пленочных покрытий, представленных в главе 4, не требуют такой тщательной очистки, потому что после полимеризации пропиточного состава они обладают достаточной несущей способностью. Кроме того, конструкция рукава не боится образования складок, поскольку после прижатия на их месте образуются утолщения, своего рода дополнительные ребра жесткости, повышающие несущую способность покрытия. Данным рукавом можно санитаровать трубопроводы из любых материалов (стали, чугуна, асбокремента, керамики и других). Поперечное сечение канала при этом может быть круглым, эллипсообразным, квадратным и др. Однако такая конструкция требует большого расхода армирующего материала и пропиточного состава.

Выводы по главе 1

Каждый из перечисленных методов санации трубопроводов отличается специфическими особенностями, на основе которых определяется соответствующая область их применения для ремонта водопроводных и водоотводящих сетей.

Как следует из приведенного обзора, который составлен по материалам, опубликованным в интернете и литературных источниках [23–32], большинство известных способов восстановления трубопроводов разработаны за рубежом. Поэтому их применение в России, наряду с очевидными достоинствами, сопряжено с определенными трудностями.

К недостаткам рассмотренных технологий, сдерживающих их применение в России, относятся высокая стоимость и габариты

оборудования, создающие значительные трудности при переброске его на большие расстояния, характерные для России.

Учитывая сказанное, основной задачей, изложенной в монографии, является создание технологий и оборудования для бесструнштного восстановления трубопроводов способами нанесения внутритрубных полимерных покрытий с удовлетворением требований низкой стоимости, возможности производства работ при пониженных температурах наружного воздуха до 0°C, простоты изготовления и применения оборудования.

Разрабатываемые в СибНИИГиМе, ООО НПФ «Изотор» и Сибирском федеральном университете отечественные технологии восстановления трубопроводов позволяют исключить значительную часть указанных недостатков и объединить достоинства существующих методов.

2. ПОДГОТОВКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ К НАНЕСЕНИЮ ПОКРЫТИЙ

Подготовка внутренней поверхности трубопроводов перед окраской или вводом многослойных тканевых рукавов играет исключительно важную роль для получения качественного защитного покрытия и увеличенного срока службы восстановленного трубопровода.

2.1. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната

После сброса воды из системы снимается запорная арматура или вырезаются катушки для обеспечения свободного доступа к внутренней поверхности восстанавливаемого участка трубопровода. При недостаточных уклонах в местах прогибов труб остается вода, которую необходимо удалить.

2.1.1. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната с помощью тора-разделителя

Для удаления остатков воды из трубопровода используются торы-разделители, обеспечивающие герметизацию в поперечном сечении трубы и перекатывание в трубопроводе без трения-скольжения, включающие тороидальную резиновую камеру с ниппелем и покрышку из прочной ткани (рис. 2.1).

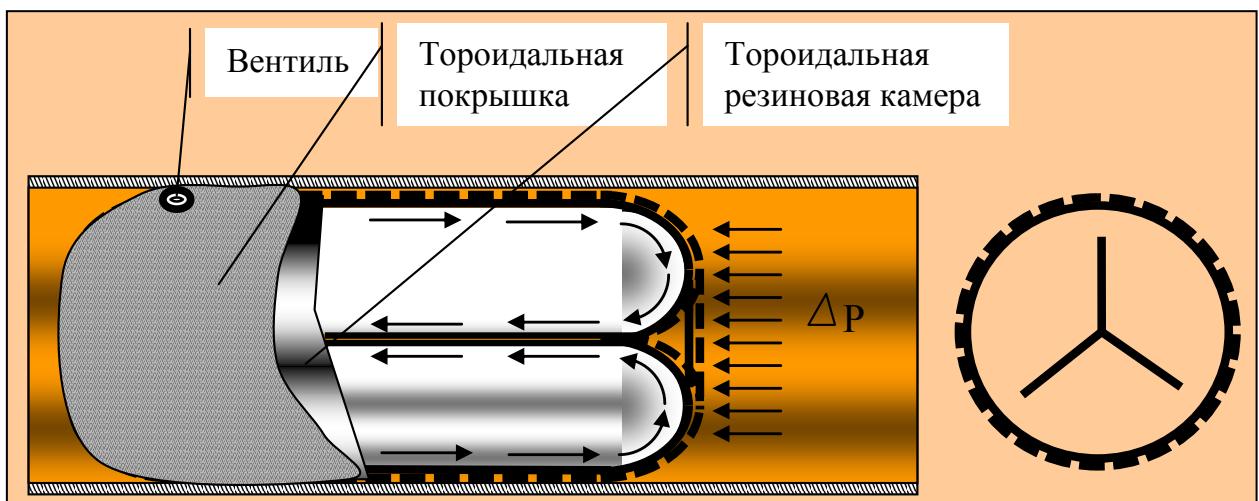


Рис. 2.1. Конструкция тора-разделителя и схема его движения в трубе

Кроме удаления остатков воды, торы разделители также рекомендуется использовать для протаскивания через трубопровод первичного троса или каната, которым впоследствии затягивают силовой трос от лебедки для механической очистки внутренней поверхности трубопроводов. Для этого канат пропускают через запорное устройство в заглушке и середину тора-разделителя, который вкатывают в начало трубопровода на глубину, достаточную для установки заглушки. При этом конец каната фиксируют в начале трубопровода.

Заглушку устанавливают в начало восстанавливаемого участка трубопровода и накачивают тор-уплотнитель для герметизации.

За счет создания разности давлений воздуха в трубопроводе тор-разделитель движется внутри трубопровода, протягивая через него канат технологической лебедки, одновременно выталкивая остатки воды из участков прогиба труб. Схема и технологические фрагменты представлена на рис. 2.2 и рис. 2.3.

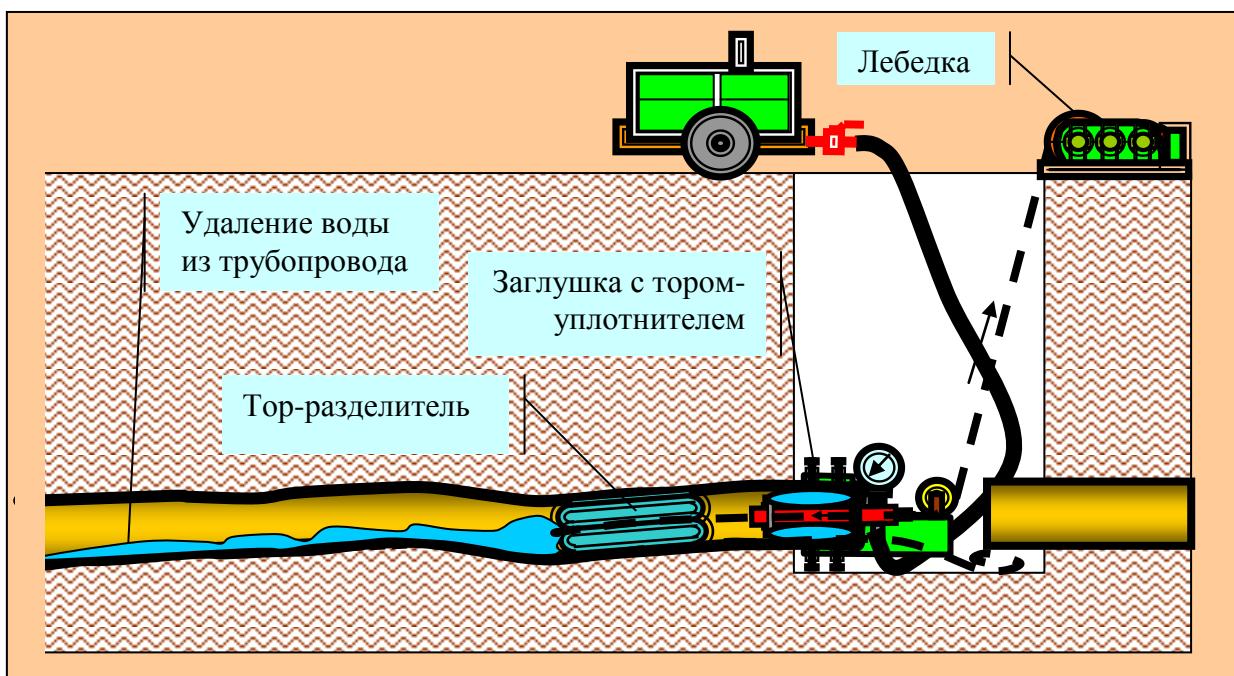


Рис. 2.2. Схема вытеснения остатков воды из трубопровода и протаскивание каната с помощью тора-разделителя

Испытания изготовленных торов-разделителей на отказ показали их высокую надежность. Одним тором-разделителем было пройдено более восьми километров трубопроводов, при этом были обнаружены незначительные повреждения покрышки, а тороидальная резиновая камера находилась в хорошем состоянии. Тороидальные резиновые камеры могут использоваться многократно, а тканевые покрышки по мере износа заменяются новыми.



Рис. 2.3. Фотофрагменты вытеснения остатков воды из трубопровода и протаскивания каната с помощью тора-разделителя

Скорость движения торов-разделителей в трубопроводе регулируется расходом воздуха. Уравнение, определяющее зависимость скорости движения торов-разделителей от расхода воздуха, может быть представлено в следующем виде

$$Q_{\text{в}} = v \cdot S = v \cdot \pi D^2 / 4, \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{в}}$ – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; v – заданная скорость движения торов-разделителей и защитного состава в трубопроводе, $\text{м}/\text{ч}$; S – пло-

щадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ; D – внутренний диаметр изолируемой трубы, м.

Оптимальная скорость перемещения торов-разделителей в трубопроводе составляет 350–500 м/ч, при этих ее значениях создаются условия плавного движения перекатыванием торов-разделителей.

2.1.2. Вытеснение остатков воды из трубопровода и протяжка через него каната с помощью рукава

При отсутствии торов-разделителей опорожнение трубопроводов от остатков воды и протяжку первичного троса можно выполнять с помощью воздухонепроницаемого рукава, например из полиэтиленовой пленки толщиной 150–200 мкм. Длина рукава должна быть на 1–2 м больше длины трубопровода.

Технология включает следующие операции:

- рукав пропускают через уплотнительный затвор вводного устройства (рис. 2.4);



Рис. 2.4. Вводное устройство

- конец пропущенного рукава выворачивают наизнанку и надевают на тор-уплотнитель;
- заглушку устанавливают в начало трубопровода и тор-уплотнитель накачивают воздухом до 0,1–0,15 МПа;
- через кран подачи воздуха от компрессора создают давление в полости вывернутого рукава.

Схема и фотофрагменты вытеснения остатков воды из трубопровода и протяжка первичного троса представлены на рис. 2.5.

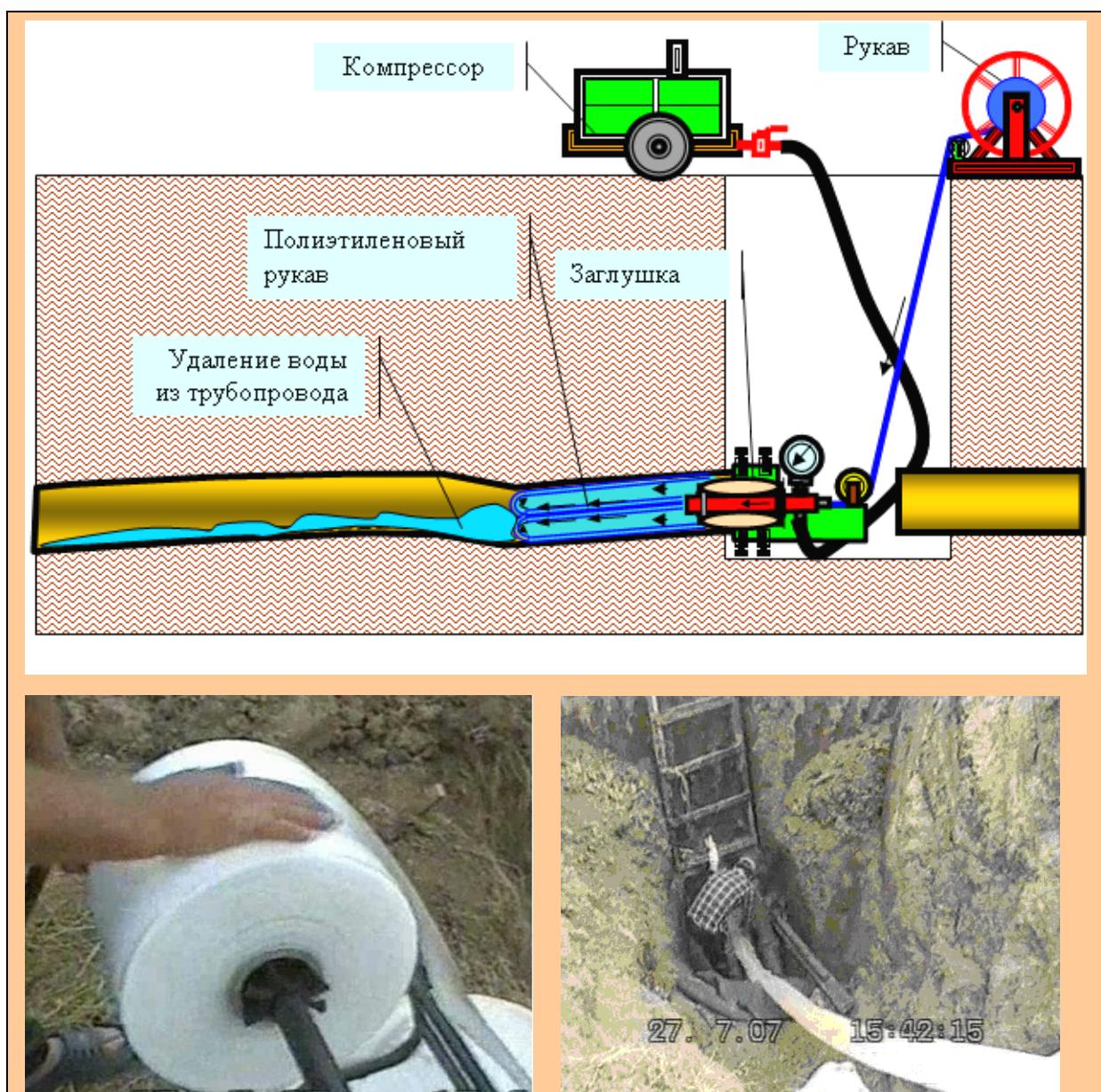


Рис. 2.5. Схема и фотофрагменты вытеснения остатков воды из трубопровода и протяжка первичного троса с использованием рукава

За счет создания разности давления воздуха рукав с выворотом вводят в трубопровод. К концу рукава привязывают первичный трос, которым обеспечивают натяжку, для создания требуемого давления в рукаве и регулирования скорости ввода рукава. После протяжки полиэтиленовый рукав извлекается, а первичный трос остается в трубопроводе. Полиэтиленовый рукав также может быть использован и для выполнения основных операций по нанесению внутритрубных покрытий. С этой целью авторами разработано несколько способов ввода рукавов в трубопровод. Их описание, схемы и фотофрагменты представлены в следующих главах.

2.2. Очистка внутренней поверхности трубопровода

Очистка внутренней поверхности трубопроводов перед их санацией является обязательной операцией технологии. В настоящее время существует множество различных способов и их комбинаций очистки трубопроводов, которые можно разделить на химические, механические, гидродинамические, термические, пневматические, электроразрядные, взрывные и другие [10, 60, 73–81, 85].

Из перечисленных способов и их модификаций рассмотрим наиболее приемлемые и доступные для качественной очистки внутренней поверхности трубопроводов, которые могут обеспечить разрушение и удаление продуктов коррозии и различных отложений.

Выбор того или иного способа подготовки внутренней поверхности труб осуществляется в зависимости от характера и степени загрязнения поверхности, а также от диаметра и длины участка очистки трубопровода.

2.2.1. Химическая очистка

К химическим способам подготовки поверхности трубопроводов относятся: травление в кислотах, обработка в щелочных растворах, органических растворителях и эмульсиях. С точки зрения практического применения наименее трудоемким из химических способов очистки является применение преобразователей ржавчины.

Химические способы подготовки поверхности могут быть рекомендованы только при строительстве новых трубопроводов или при ремонте трубопроводов, предварительно очищенных механическим методом, когда толщина оставшегося слоя ржавчины не превышает 50–120 мкм. Ранее эти способы находили применение при очистке труб малых диаметров, так как с увеличением диаметра резко возрастает расход преобразователя ржавчины. С использованием торов-разделителей диапазон диаметров очищаемых труб может быть увеличен из-за пропуска через трубопровод определенного объема преобразователя ржавчины, закачиваемого между двумя торами-разделителями. Для этого торы-разделители последовательно вводят в начало трубопровода и устанавливают друг за другом.

На рис. 2.6 представлена схема закачки преобразователя ржавчины между торами-разделителями.

Чтобы обеспечить смачивание всей внутренней поверхности трубопровода преобразователем ржавчины, необходимо создать условия, при которых преобразователь ржавчины будет заполнять полный объем между торами-разделителями по всему сечению трубы. Для этого сопротивление перекатыванию первого тора-разделителя должно быть больше, чем у второго, т. е. необходимо создать подпор.

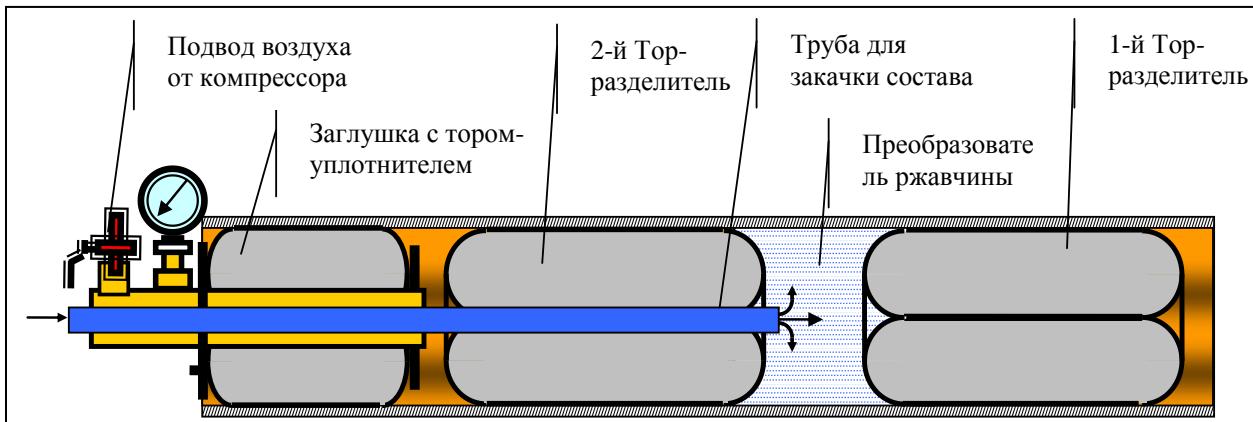


Рис. 2.6. Схема закачки преобразователя ржавчины между торами-разделителями

С увеличением давления в торе-разделителе увеличивается сопротивление его перемещению. Поэтому, чтобы при смачивании не было разбежки торов-разделителей, давление в первом торе должно быть больше, чем во втором.

Сначала первый тор-разделитель накачивают воздухом до 0,07 МПа и вкатывают в начало трубопровода на глубину, достаточную для вкатывания второго тора-разделителя и установки заглушки. Второй тор-разделитель накачивают воздухом до 0,05 МПа, вставляют в начало трубопровода, затем в конец тора-разделителя упирают трубу для закачки состава и вместе с заглушкой вкатывают в трубу до упора в первый тор-разделитель. Фиксируют заглушку при давления воздуха в ней 0,1–0,15 МПа.

Через трубу для закачки состава нагнетают преобразователь ржавчины в объеме, достаточном для смачивания внутренней поверхности трубопровода. При этом преобразователь ржавчины заполняет объем между торами-разделителями по всему сечению трубы и смещает первый тор-разделитель на величину, прямо пропорциональную объему закачанной жидкости и обратно пропорциональную площади поперечного сечения трубы.

После закачки требуемого объема преобразователя ржавчины трубу подачи раствора перекрывают.

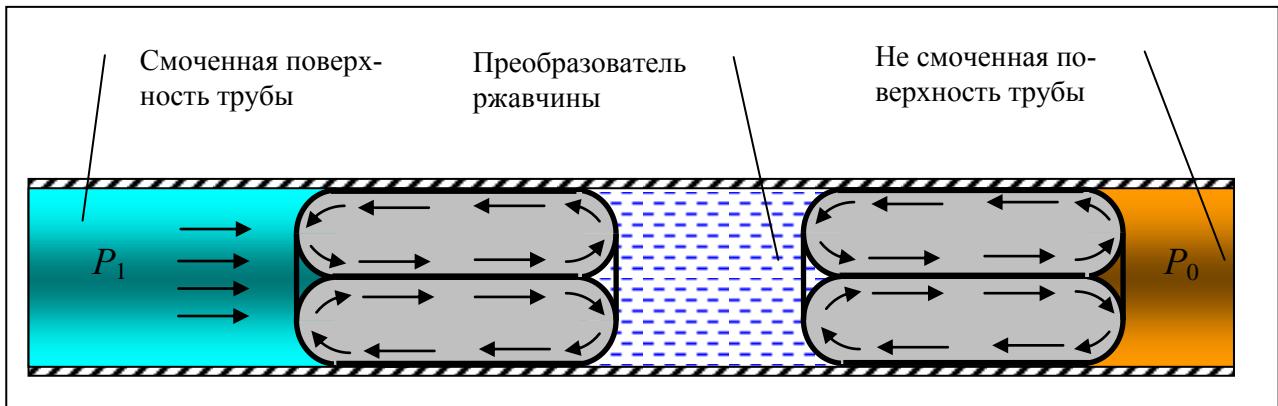


Рис. 2.7. Схема нанесения преобразователя ржавчины на внутреннюю поверхность трубопровода

За счет создания разности давлений воздуха в трубопроводе со стороны заглушки торы разделители перемещают ограниченный объем преобразователя ржавчины внутри трубы, который смачивает внутреннюю поверхность трубопровода по всему периметру (рис. 2.7).

2.2.2. Гидродинамическая очистка

Перед санацией трубопроводов в зарубежной и отечественной практике применяется метод гидродинамической очистки. Принцип такой очистки основан на применении в качестве рабочего органа водяной струи, которая под высоким давлением подается в рабочую зону через специальные насадки (рис. 2.8). В качестве насадок используется несколько модификаций гидроголовок, работающих в трубах различного диаметра при различной толщине отложений, не повреждая материала трубы.

Метод очистки заключается в гидродинамическом разрушении отложений и одновременном их удалении из зоны очистки струями воды, подаваемыми в рабочую зону от насоса высокого давления через специальные приспособления, шланги и насадки. Гидравлическая очистка осуществляется специальными каналоочиститель-

ными машинами, в основном установленными на шасси грузовых автомобилей.



Рис. 2.8. Специальные приспособления, шланги и насадки для гидродинамической очистки трубопроводов

Вода из резервуара машины под давлением подается по шлангу на вращающуюся головку, находящуюся в трубопроводе. За счет того, что распылительные отверстия в головке расположены под углом к трубе, головка при вращении поступательно вместе со шлангом движется вперед, снимая при своем проходе отложения.

После того как распылительная головка доходит до конца трубопровода, оператор машины при помощи мини-лебедки возвращает ее в исходное положение, двигаясь в обратном направлении, она снова снимает отложения в трубопроводе.

Вытекающая вода удаляется посредством илососа или (на отдельных моделях промывочных машин) всасывается обратно в ре-

зервуар, который разделен внутри подвижной перегородкой таким образом, что перед началом работ он полностью заполнен чистой водой, а после окончания работ – грязной.

Отечественные каналопромывочные машины с рабочим давлением насоса до 160 атм предназначены главным образом для прочистки канализационных трубопроводов. Для очистки водопроводов в комплект машин вводят цепные карусели (рис. 2.9).

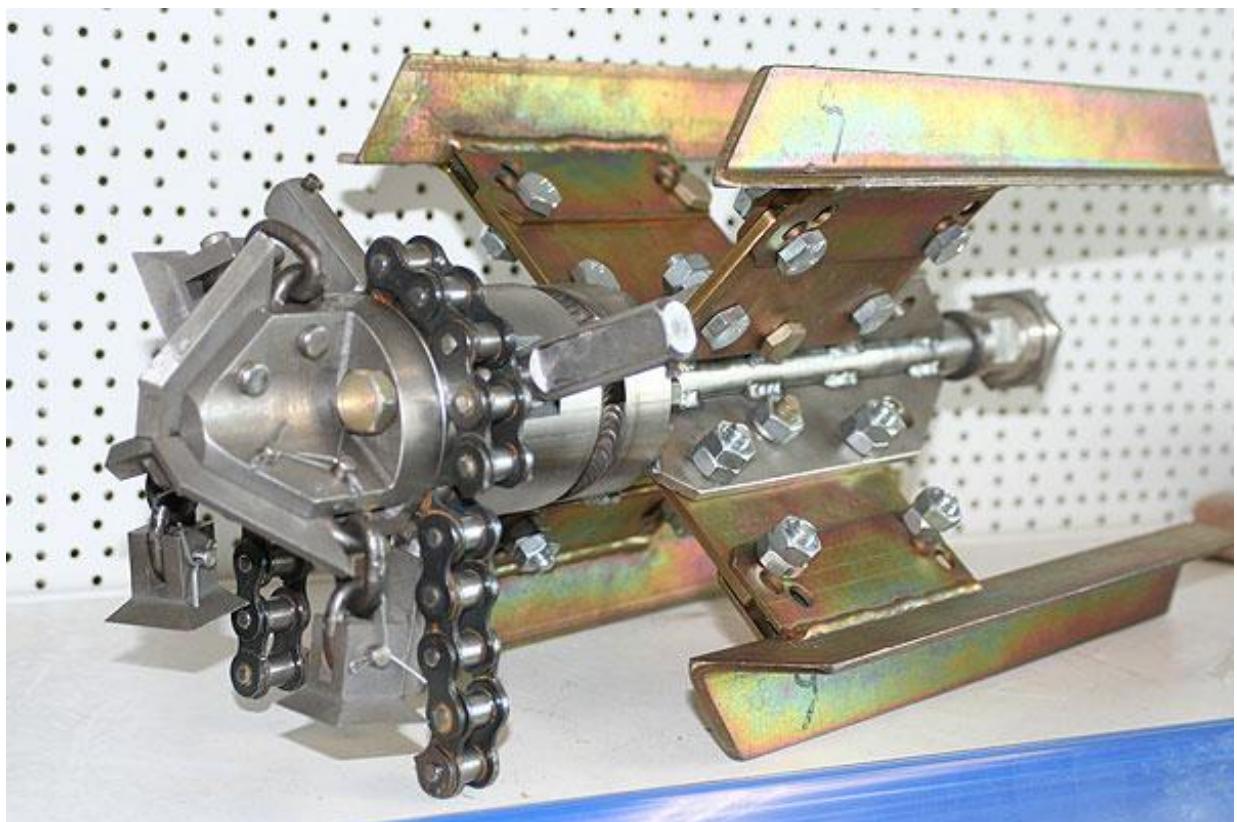


Рис. 2.9. Цепная карусель для очистки трубопроводов

За рубежом существует два типа промывочных машин: для промывки канализационных трубопроводов (рабочее давление в этих машинах достигает 400 бар) и для очистки водопроводов (с рабочим давлением до 2000 бар и выше). Фирма ПРС Рорсаниринг ГмбХ совместно с фирмой ФАБЕКС ГмбХ (г. Ганновер) разработала технологию VACUJET (вакуумно-водяное фрезерование под сверхвысоким давлением). За счет положения сопел во фрезерной головке возникает плотный поток воздуха в трубе. Вследствие это-

го оторванный материал и загрязненная вода транспортируются из трубы в направлении «черновой стороны». Одновременно труба на «белой стороне» высушивается.

2.2.3. Механическая очистка с обеспыливанием

При выполнении работ по очистке внутренних поверхностей трубопроводов было установлено, что твердость отложений в мокрых трубопроводах очень велика. Такие отложения тяжело поддаются очистке даже с помощью зубила и молотка. Однако после продувки трубопровода горячим воздухом до полного осушения твердость отложений резко снижается, что позволяет с успехом применять механическую очистку скребками и поршнями с последующим обеспыливанием способами продувки воздухом или промывкой трубопровода водой.

Схема прогрева трубопровода горячим воздухом представлена на рис. 2.10.

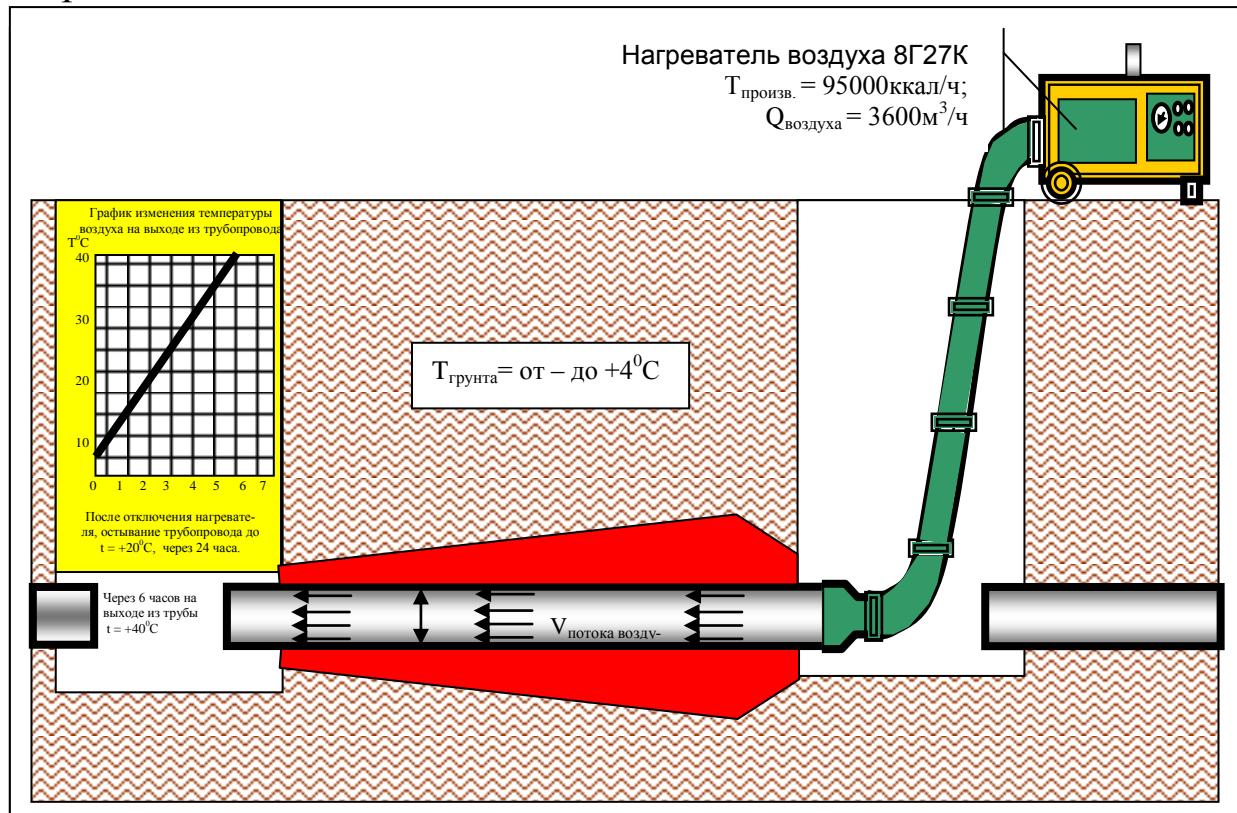


Рис. 2.10. Схема прогрева трубопровода горячим воздухом

Другой положительный эффект от продувки трубопроводов горячим воздухом заключается в том, что данная операция не только исключит конденсат в трубопроводе, но и обеспечит ускорение процесса полимеризации эпоксидного состава за счет аккумуляции тепла стенками трубопровода и облегающего грунта.

Фотофрагменты прогрева трубопровода горячим воздухом представлены на рис. 2.11.



Рис. 2.11. Продувка трубопровода подогревателем воздуха 8Г27К

Технические характеристики подогревателя воздуха 8Г27К представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики подогревателя воздуха 8Г27К

№	Наименование показателя	Значение
1.	Рабочая температура подогретого воздуха на выходе	130 °C
2.	Теплопроизводительность	9500 ккал/ч
3.	Производительность вентилятора	3600 м ³ /ч
4.	Эл. двигатель вентилятора	380 V, 4 kW
5.	Масса подогревателя без топлива	230 кг
6.	Габаритные размеры	1765 x750 x 930
7.	Топливо горелки: бензин А-80; АИ-92	10 – 16 л/ч



Рис. 2.12. Схема и фрагменты очистки трубопровода скребком с последующей промывкой водой каналопромывочной машиной КО-14

Качество очистки внутренней поверхности старых трубопроводов достигается при многократном протаскивании через него скребков, не менее 4-6 раз и промывкой водой под давлением 160 атмосфер и более, для удаления наносов и продуктов коррозии. Эта технология применима для любых трубопроводов (рис.2.12).

Для труб малого диаметра, до 300 мм, после очистки скребками, при отсутствии каналопромывочной машины КО-14 можно применять метод обеспыливания внутренней поверхности посредством одновременной продувки с протаскиванием через трубопровод металлической щетки (рис.2.13).

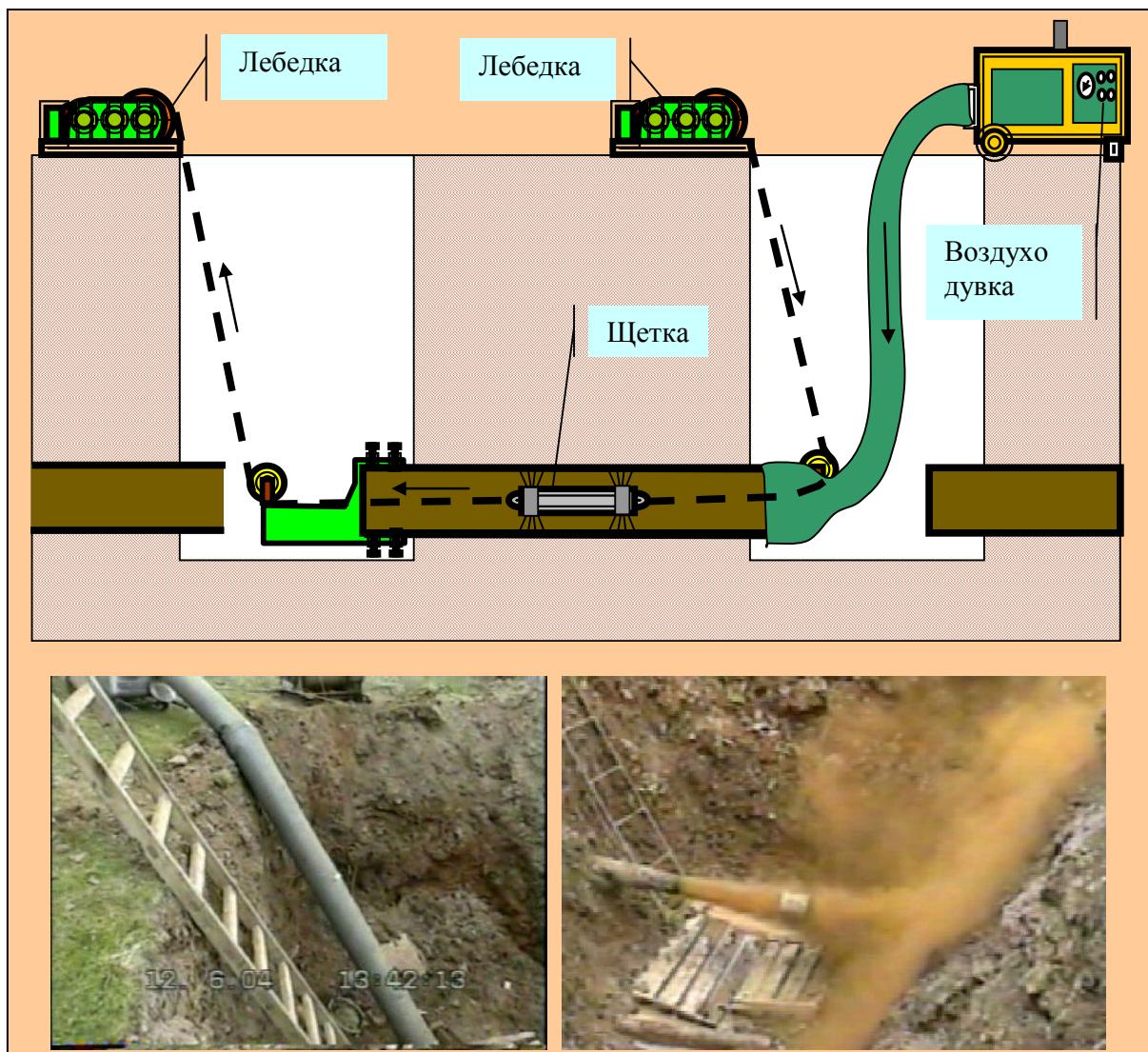


Рис. 2.13. Схема и фрагменты обеспыливания внутренней поверхности трубопровода



Рис. 2.14. Фрагменты очистки внутренней поверхности трубопроводов

Механический метод очистки хоть и трудоёмок, но зато обеспечивает необходимое качество подготовки внутренней поверхности трубопровода для санации и более доступен по стоимости.

Нанесение защитного полимерного покрытия должно производиться на очищенную сухую поверхность при положительной температуре.

Фотофрагменты механической очистки внутренней поверхности трубопроводов представлены на рис. 2.14.

Выводы по главе 2

1. Определены методы и оборудование для подготовки внутренней поверхности трубопроводов.

2. Разработаны способы и устройства для удаления остатков воды из трубопровода и протяжки первичного троса.

3. Разработаны и усовершенствованы технологии очистки внутренней поверхности трубопроводов:

- химическая очистка преобразователем ржавчины с применением торов-разделителей;
- механическая очистка скребками с предварительным прогревом труб;
- обеспыливание внутренней поверхности трубопровода путем промывки водой или продувки воздухом с одновременной протяжкой металлической щетки.

3. ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ОКРАСОЧНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

Сущность метода окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов с применением торов-разделителей заключается в том, что для получения качественного защитного покрытия через трубопровод пропускают пару торообразных разделителей с заключенным между ними защитным составом. Перемещение этих устройств осуществляется за счет создания разности давлений воздуха в трубопроводе. При этом торы-разделители перекрывают трубу в поперечном сечении и перекатываются внутри трубопровода без трения скольжения. Защитный состав, заключенный между торами-разделителями, сначала смачивает участок трубы по всему периметру, а затем след из защитного состава, оставляемый на внутренней поверхности трубопровода после прохождения устройства, будет являться изолирующим покрытием [28–29].

Эффективность применения торов-разделителей для бестраншейных технологий ограничивается отсутствием результатов исследований в данном направлении, которое в значительной мере компенсировано авторами в этом разделе.

Анализ нормативной, литературной и патентной информации показал, что вопросами изучения торов занимались В.М. Меркулов, В.Г. Гринь, Р.З. Кожевников, А.А. Коренев, А.В. Крошнев, В.И. Палиев, Ю.А. Свистунов, Б.И. Сергеев, И.А. Чаюк, В.В. Шишкин и др. Имеющаяся информация по этому вопросу носит прикладной характер в виде идей и предложений [29–33].

Основные прочностные расчеты тороидальных оболочек достаточно полно изложены в работах Р.М. Авдеева, В.А. Волосухина, и других авторов [30, 31].

3.1. Теоретическое обоснование условий движения качением тора-разделителя в трубопроводе

Чтобы выяснить общий характер работы тора и ее зависимость от параметров последнего, обратимся к рассмотрению движения точки, принадлежащей поверхности тора-разделителя, находящегося внутри круглой трубы (рис. 3.1). Для этого проведем продольное сечение по оси трубы. В сечении получим фигуру, изображенную на рис. 3.2.

Поскольку тор-разделитель обладает осевой симметрией, то в дальнейшем можно рассматривать движение точки только в этом сечении.

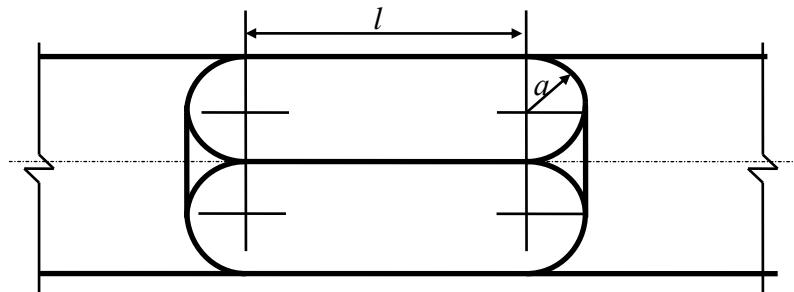


Рис. 3.1. Схема для расчета параметров движения точки, принадлежащей поверхности тора, находящегося внутри круглой трубы

Предварительно условимся, что неподвижные оси координат ОХ и ОY с началом в точке О расположены так, что ось ОХ находится на уровне поверхности трубы и направлена в сторону движения тора, а ось ОY проходит через центр вращения нижней части сечения тора (рис. 3.2).

Кинематику движения тороидального тела будем рассматривать при следующих допущениях:

- будем считать, что дуги АВ и СД являются полуокружностями;
- участки ВС и АД равны и параллельны между собой;

- на кривой АВСДА не происходит локальных сжатий или растяжений каких-либо участков.

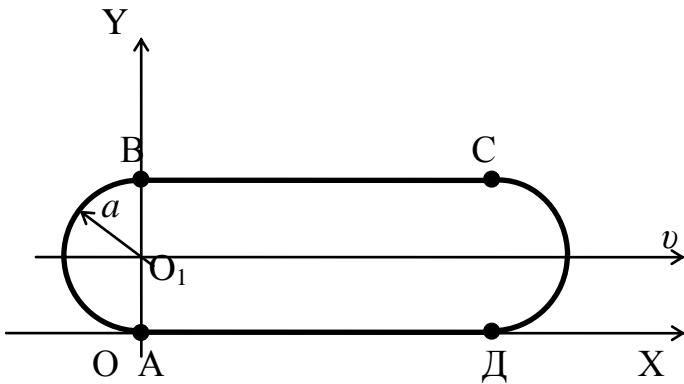


Рис. 3.2. Траектория движения точки, находящейся на покрышке тора

Введем дополнительные обозначения: l – длина участков ВС и АД, a – радиус полуокружностей АВ и СД. Предположим, что центр масс тела движется вдоль оси ОХ со скоростью v .

Рассмотрим траекторию движения точки, которая в начальный момент времени $t = 0$ находится в позиции А.

Из рис. 3.2 нетрудно заметить, что точка А на участке АВ участвует одновременно в двух движениях: поступательном вдоль оси Х и вращательном вокруг центра O_1 .

На основании изложенного запишем выражения для изменяющихся координат точки А. В соответствии с рис. 3.2 можно записать, что система уравнений, описывающая движение точки А, которая находится на участке АВ, имеет следующий вид:

$$\text{при } 0 \leq t \leq t_0 = \frac{\pi a}{v}, \quad \begin{cases} x(t) = vt - a \sin \frac{vt}{a}, \\ y(t) = a(1 - \cos \frac{vt}{a}) \end{cases} \quad (3.1)$$

где a – 1/4 часть диаметра тора, м; t – время, с.

Принимая во внимание, что в уравнениях (3.1) $t = t_0$, получим траекторию движения точки А на рассматриваемом участке, для описания которой используется циклоида [33] с уравнением

$$\begin{cases} x(t_0) = v \frac{\pi a}{\nu} - a \sin \pi = \pi a \\ y(t_0) = a(1 - \cos \pi) = 2a \end{cases} . \quad (3.2)$$

Далее точка движется вдоль оси ОХ со скоростью $2v$ относительно неподвижной системы координат. Время движения точки по участку ВС равно l/v , где l – длина цилиндрической части тора, м.

Таким образом, на участке ВС уравнение траектории движения точки можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} x(t) = \pi a + 2v(t_1 - t_0) \\ y(t) = 2a \end{cases} . \quad (3.3)$$

При $t = \pi a/v + l/v = t_1$, имеем:

$$\begin{cases} x(t_1) = \pi a + 2l \\ y(t_1) = 2a \end{cases} . \quad (3.4)$$

На участке СД точка вновь движется по циклоиде. Поэтому траектория движения точки на этом участке описывается уравнениями

$$\begin{cases} x(t) = \pi a + 2l + v(t - t_1) - a \sin\left(\frac{\nu t}{\alpha} + \pi\right) \\ y(t) = a(1 - \cos\left(\frac{\nu t}{\alpha} + \pi\right)) \end{cases} . \quad (3.5)$$

При условии $\pi a/v + l/v = t_1 < t < 2\pi a/v + l/v = t_2$ имеем, с учетом $t = t_2$:

$$\begin{cases} x(t_2) = 2\pi a + 2l \\ y(t_2) = 0 \end{cases} . \quad (3.6)$$

Далее в течение отрезка времени, равного l/v , точка находится в состоянии покоя. При условии $t_2 < t < t_2 + 1/v = 2\pi a/v + 2l/v$ координаты этой точки определяются из уравнения

$$\begin{cases} x(t) = 2\pi a + 2l \\ y(t) = 0 \end{cases} . \quad (3.7)$$

Выражения (3.1–3.7) представляют уравнения траектории движения точки А, находящейся на поверхности тора за один обо-

рот последнего. Расчет параметров траектории выполнен на персональном компьютере по специально разработанной программе. Графическое изображение траектории движения разных по линейным размерам торов-разделителей представлено на рис. 3.3.

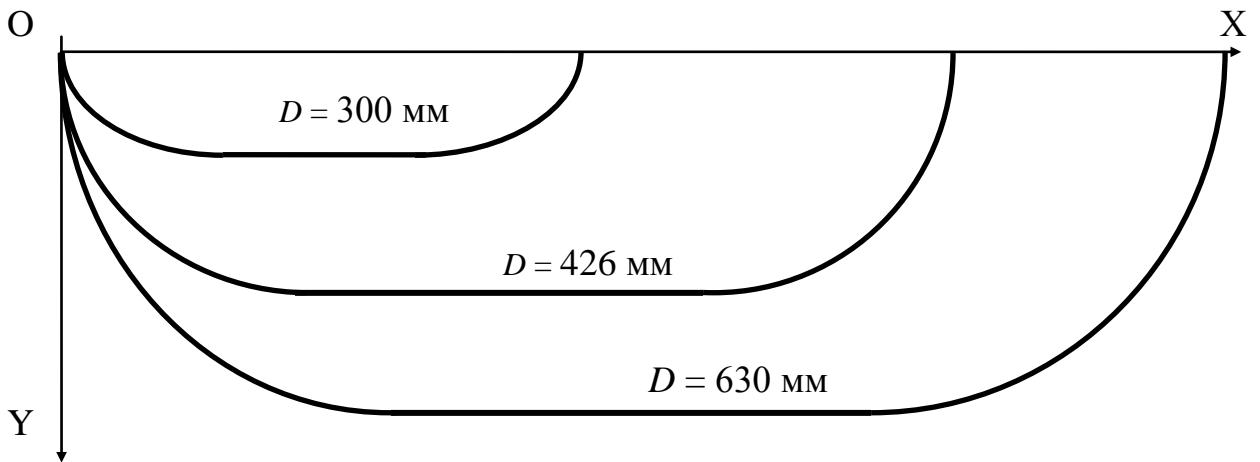


Рис. 3.3. Траектория движения точки на поверхности тора в трубопроводах различных диаметров

Анализ системы уравнений, характеризующих траекторию движения тора внутри трубы, позволяет сделать вывод о том, что параметры траектории определяются линейными размерами тора и не зависят от скорости его движения в трубе.

Особо следует отметить, что траектория движения тора имеет участок, на котором точка находится в состоянии покоя. Координаты этой точки определяются системой уравнений (3.7) и зависят только от размеров тора. Действительно, взяв производную от первого уравнения системы (3.7), убедимся, что скорость движения точки на этом участке равна 0, т. е. $x(t) = v(t) = 0$ (рис. 3.4).

Наличие указанной точки имеет значение для реализации технологического процесса внутренней изоляции трубопроводов. Вместе с тем, для того, чтобы точка, принадлежащая поверхности тора, в определенный момент времени находилась в состоянии покоя,

необходимо выполнить определенные условия. Рассмотрим эти условия подробнее.

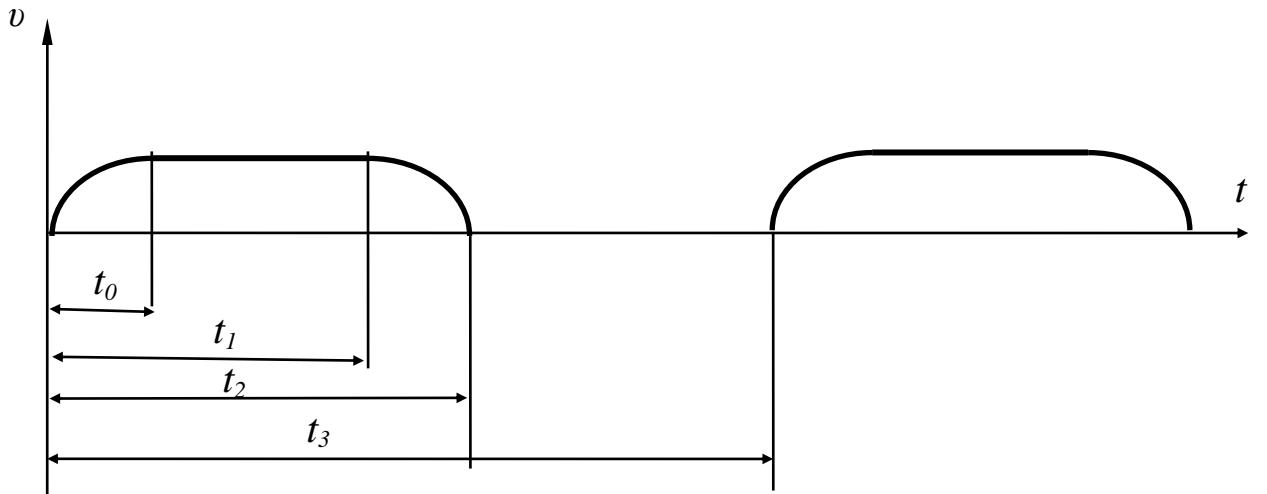


Рис. 3.4. График изменения скорости точки, находящейся на поверхности тора-разделителя

Условие движение тора качением может быть обеспечено в том случае, если усилие прижатия поверхности тора к внутренней поверхности трубы, с учетом коэффициента трения скольжения, будет больше, чем усилие, необходимое для передвижения тора внутри трубы (рис. 3.5).

Как было отмечено, перемещение тора осуществляется за счет создания разности давлений воздуха в трубопроводе. При этом торы-разделители перекрывают трубу в поперечном сечении и передвигаются внутри трубопровода без трения скольжения.

Давление воздуха $p_{\text{вн}}$ внутри тора во всех точках одинаково. Поэтому воздух внутри тора давит на часть оболочки, соприкасающейся с внутренней поверхностью трубы с силой, равной $p_{\text{вн}} S$. Одновременно с этим на часть поверхности тора, равной по площади поперечному сечению трубы, давит сила, обусловленная избыточным давлением p воздуха, создаваемого компрессором. Величина этой силы равна pS .

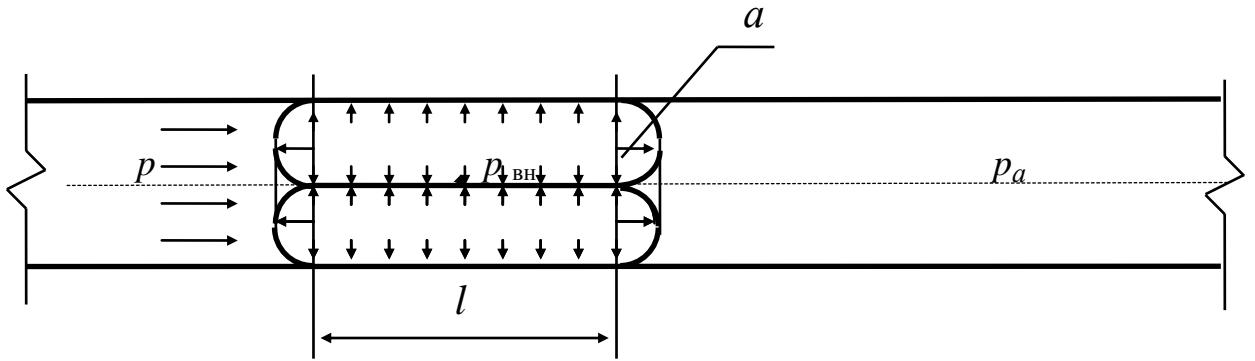


Рис. 3.5. Схема для расчета параметров движения качением тора-разделителя

Таким образом, условие качения тора может быть в общем виде представлено следующим выражением:

$$p S < p_{вн} S_k f, \quad (3.8)$$

где p – давление воздуха в трубопроводе, создаваемое компрессором, МПа; $p_{вн}$ – давление внутри тора, МПа; S_k – площадь контакта тора с внутренней поверхностью трубы, м^2 ; f – коэффициент трения скольжения покрышки тора по материалу трубопровода.

Поскольку площадь контакта тора с внутренней поверхностью трубы и площадь поперечного сечения трубы не трудно найти с помощью рис. 3.5, то условие (3.8) можно записать в виде

$$p \pi D^2/4 < p_{вн} 4\pi a l f, \quad (3.9)$$

где l – длина цилиндрической части поверхности тора, м.

Окончательно при условии $p_{вн} = 4a$ имеем:

$$\frac{P}{p_{вн} f} < \frac{l}{a}. \quad (3.10)$$

На основании уравнения (3.10) можно сделать вывод о том, что движение тора качением внутри трубы обеспечивается при условии, когда соотношение между избыточным давлением воздуха, необходимым для перемещения тора, и давлением внутри тора с учетом коэффициента трения скольжения будет меньше соотноше-

ний длины контакта тора с трубой и его радиуса. Другими словами, для движения тора в трубе необходимо, чтобы соотношение между давлением на перемещение тора и давлением внутри его не превышало соотношения линейных размеров тора.

Учитывая, что при выполнении процесса изоляции внутренней поверхности трубы используются два тора-разделителя, между которыми находится изолирующий состав, рассмотрим справедливость условия (3.9) (рис. 3.6).

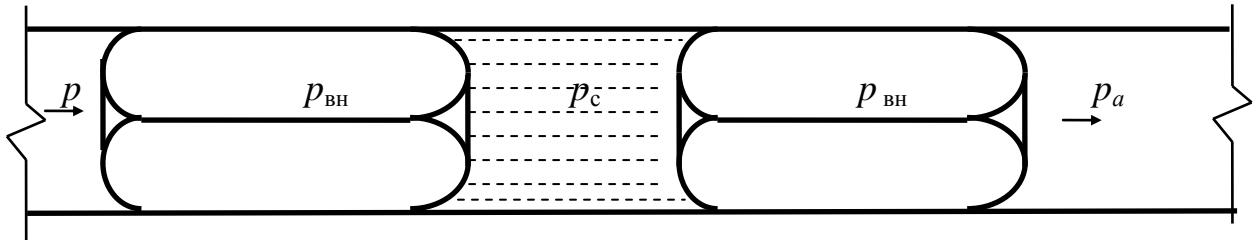


Рис. 3.6. Схема для расчета движения качением торов-разделителей в трубопроводе

В соответствии с (3.8) запишем условия движения качением для двух торов, между которыми находится среда (изолирующий состав).

$$\text{Для первого тора } p - p_c < \frac{P_{\text{вн}} \cdot l \cdot f}{a}, \quad (3.11)$$

$$\text{для второго тора } p_c - p_a < \frac{P_{\text{вн}} \cdot l \cdot f}{a}, \quad (3.12)$$

где p_c – давление в среде на уровне оси тора, МПа.

$$\text{Из симметрии следует: } p - p_a < \frac{2P_{\text{вн}} \cdot l \cdot f}{a}. \quad (3.13)$$

С учетом преобразований условие, обеспечивающее движение качением торов-разделителей, определяется соотношением

$$\frac{(p - p_a)}{P_{\text{вн}} f} < \frac{2l}{a}. \quad (3.14)$$

Таким образом, для движения двух торов-разделителей в трубе необходимо, чтобы отношение давления воздуха для перемещения торов к давлению внутри их с учетом коэффициента трения скольжения не превышало соотношения линейных размеров обоих торов.

Для сохранения объёма изолирующего состава в трубе между торами-разделителями необходимо исключить возможность их смещения относительно друг друга под действием давления изолирующего состава.

Рассмотрим зависимость давления жидкости от высоты ее столба в цилиндрическом сосуде. Давление на дно сосуда равно весу столба жидкости:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}. \quad (3.15)$$

Отсюда получим

$$p_a = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot h \cdot S \cdot g}{S} = \rho \cdot h \cdot g, \quad (3.16)$$

где V – объем жидкости, м 3 ; p_a – давление на дно сосуда, МПа.

Такое же давление, в соответствии с законом Паскаля, оказывает жидкость и на боковые стенки сосуда на глубине h [34]. Исходя из этого можно записать условие, исключающее возможность смещения торов-разделителей относительно друг друга под действием давления изолирующего состава:

$$\rho \cdot g \cdot h < (p - p_a), \quad (3.17)$$

где ρ – плотность полимерного состава, кг/м 3 ; g – ускорение силы тяжести, м/с 2 ; h – высота заполнения трубы kleевым составом, м.

Из полученного уравнения (3.17) видно, что величина гидростатического давления изолирующего состава не должна превышать величины избыточного давления, необходимого для перемещения тора.

3.2. Определение зависимостей для прочностного расчета эластичного тора-разделителя

Несмотря на известность методик расчёта тороидальных оболочек и сосудов [34–40], являющихся неподвижными несущими конструкциями, применять эти методики для прочностного расчёта эластичных торообразных приводов без дополнительной переработки не возможно, так как в них не учитываются: цикличность нагрузления; вытянутость формы; сопротивление преодолению полезной нагрузки; множество различных схем нагружения, возникающих в процессе их работы.

Основные схемы нагружения тора-разделителя показаны на рис. 3.7.

Учитывая, что торообразный привод преимущественно работает в режиме толкача, то и рассматриваемые схемы нагружения соответствуют указанному режиму. При этом действующая на привод полезная нагрузка от сопротивления перемещению воды и других жидкых продуктов будет соответствовать тяговому усилию тора R_t , которое при его холостом движении будет равно нулю.

Какие детали тора-разделителя подлежат расчёту на прочность?

Основными его деталями являются камера, покрышка (оболочка) и ниппель. При этом главные нагрузки от внутреннего давления воздуха несет покрышка. Однако при ее расчете следует учитывать, что в случае использования тора-разделителя для нанесения покрытия из-за смачивания kleem, сложности его удаления и малой стоимости покрышки срок ее службы и, следовательно, длительность воздействия нагрузок целесообразно назначать равными длительности ремонта одного участка трубопровода. При выполнении же приводом других операций срок службы покрышки может быть достаточно большим.

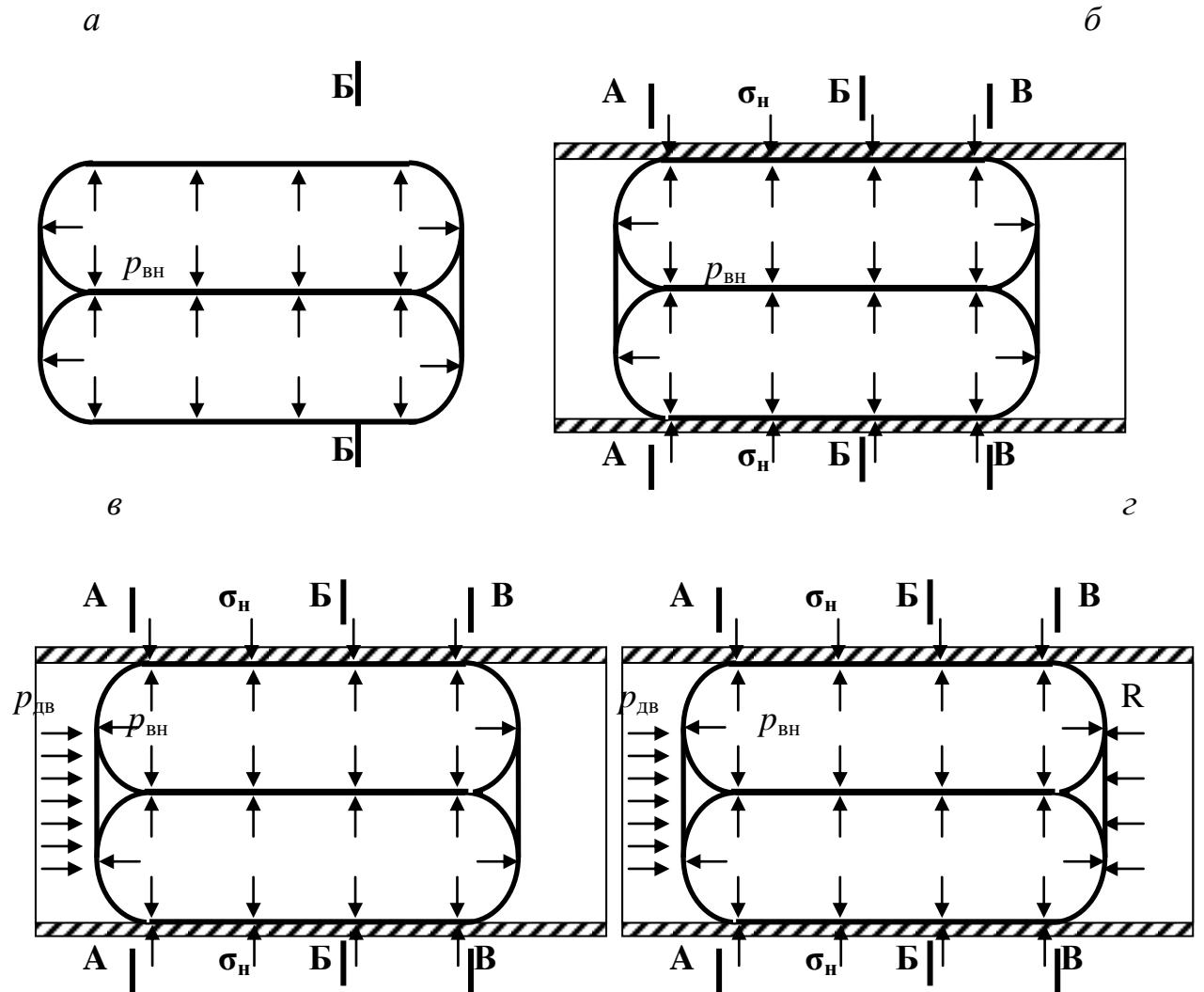


Рис. 3.7. Основные расчётные схемы нагружения тора-разделителя в процессе его работы:

а – нахождение тора вне трубопровода; *б* – то же, но внутри трубопровода при $p_{\text{дв}} = 0$; *в* – то же, что и «*б*», но при холостом движении тора ($R_t = 0$); *г* – то же, что и «*б*», но при движении тора с полезной нагрузкой $R_{\text{п.н.}}$

Камера тора является разгруженной конструкцией, т. е. она при исправной покрышке не нагружается рабочим давлением воздуха (нагружается покрышкой). Однако, тем не менее, ее разрушение может произойти от усталости, вследствие сгиба-разгиба, а также при внештатной ситуации из-за разрыва покрышки. Учитывая, что число сгибов-разгибов камеры за срок ее эксплуатации относитель-

но невелико, а предел выносливости эластичных резин достаточно большой, учитывая также разгруженность камеры и отсутствие опасности ее аварийного разрыва, размеры камеры могут назначаться конструктивно, без расчета ее на прочность и усталость, с учетом только технологических соображений и потерь мощности на движение тора. При этом следует учитывать необходимость обеспечения наибольшего тягового КПД и достаточной надежности.

Ниппель как деталь рабочей нагрузки не несет, поэтому его размеры также могут назначаться конструктивно. С учетом сказанного предлагается подвергать расчету на прочность только покрышку.

Материал покрышки должен удовлетворять требованиям прочности, гибкости, химической стойкости при работе в соответствующей технологической среде, обеспечения достаточно высокого гидравлического сопротивления (с целью минимизации утечек воздуха через сомкнутое продольное отверстие тора и на контакте его стенок с трубопроводом), небольшого веса, малой стоимости и небольшой трудоемкости изготовления. Таким требованиям удовлетворяет часть технических натуральных тканей, в частности чеферные ткани.

За методическую основу для прочностного расчета привода возьмем известную методику расчёта сосудов, работающих под давлением [83–89] с внесением в нее указанных особенностей нагрузления тора-разделителя. Кроме этого, в методике расчёта также необходимо учесть следующие особенности конструкции и работы тора-разделителя при внутритрубных перемещениях:

- наличие у торов значительно более сложной формы;
- использование в качестве материала технической ткани с пластичным механизмом разрушения;

- достаточно низкое рабочее давление воздуха внутри тора (до 0,1 МПа);
- относительно небольшая усталостная нагруженность при сгибе-разгибе из-за технологической и экономической целесообразности применения покрышки на срок не более 1 – 2 часов (для случая нанесения мастичных покрытий);
- минимальная опасность для людей при аварийном разрыве, вследствие низкого давления воздуха в камере и защиты рабочих стенками трубопровода;
- возможное влияние на прочность покрышки технологической среды (растворы смол в тех или иных растворителях в виде ацетона и др.);
- отсутствие необходимости учитывать влияние старения материала на прочность покрышки из-за небольшого срока ее службы.

Для определения напряжений в покрышке тора рассмотрим в отдельности каждую схему его нагружения (рис. 3.7).

Рассмотрение начнём со схемы «*a*», соответствующей нахождению тора вне трубопровода, являющейся наиболее простой и, в то же время, – составной частью других схем.

Схема «*a*» (рис. 3.7, *a*). Для определения напряжений, действующих в покрышке, вырежем из нее элементарную материальную площадку А и рассмотрим её равновесие (рис. 3.8).

При этом с целью обобщения предварительно рассмотрим случай, когда эта площадка имеет двоякую кривизну в продольном и поперечном направлениях, т. е. когда цилиндрическая часть тора отсутствует.

Поскольку толщина покрышки $\delta_{\text{п}}$ значительно меньше диаметра тора $D_{\text{т}}$ ($\delta_{\text{п}} < 0,05 D_{\text{т}}$), её напряженное состояние, в соответствии с работами [34, 36, 48], считаем плоским, а напряжения, действующие перпендикулярно площадке А, равны нулю. Кроме того,

учитывая, что покрышка гибкая, принимаем, что изгибающие её моменты также равны нулю.

Для определения неизвестных напряжений $\sigma_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{поп}}$ составим в дифференциальной форме уравнение равновесия элементарной площадки А, приравняв к нулю сумму всех проекций сил на перпендикуляр к этой площадке. В результате получим

$$p_{\text{вн}} dl_1 dl_2 - 2\sigma_{\text{пр}} \delta_{\text{п}} dl_1 \sin\left(\frac{d\Theta}{2}\right) - 2\sigma_{\text{поп}} \delta_{\text{п}} dl_2 \sin\left(\frac{d\Psi}{2}\right) = 0, \quad (3.18)$$

где l_1, l_2 – размеры площадки в покрышке тора, м (d – дифференциал от размеров); $\sigma_{\text{пр}}, \sigma_{\text{поп}}$ – продольные и поперечные напряжения в покрышке, Па; $\delta_{\text{п}}$ – толщина покрышки, м; Ψ, Θ – углы изгиба площадки в продольном и поперечном направлениях, град.

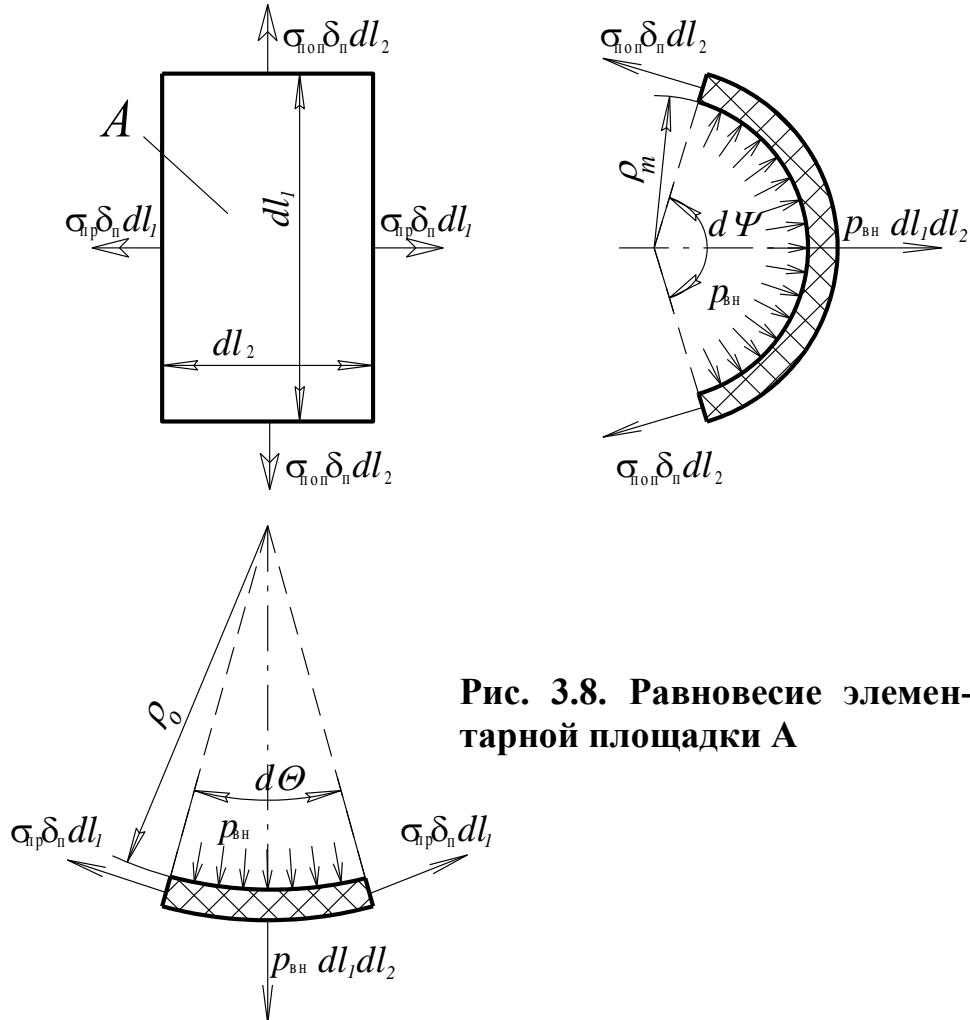


Рис. 3.8. Равновесие элементарной площадки А

Так как вследствие малости углов Θ и Ψ $\sin\left(\frac{d\Theta}{2}\right) \approx \frac{d\Theta}{2}$ и $\sin\left(\frac{d\Psi}{2}\right) \approx \frac{d\Psi}{2}$, то, выразив дифференциалы углов $d\Theta$ и $d\Psi$ через радиусы кривизны элементарной площадки $d\Theta = \frac{dl_2}{\rho_n}$ и $d\Psi = \frac{dl_1}{\rho_{pr}}$, приходим к известному уравнению Лапласа для расчета оболочек:

$$\frac{\sigma_{pop}}{\rho_n} + \frac{\sigma_{pr}}{\rho_{pr}} = \frac{p_{bh}}{\delta_n}, \quad (3.19)$$

где ρ_{pr} , ρ_n – радиусы изгиба покрышки в продольной и поперечной плоскостях, м.

Для цилиндрической части тора $\rho_{pr} = \infty$, поэтому уравнение (3.19) может быть записано в более простом виде:

$$\sigma_{pop} = \frac{p_{bh}\rho_o}{\delta_n} = \frac{p_{bh}D_t}{2\delta_n}. \quad (3.20)$$

Для определения напряжения σ_{pr} тор разрежем поперечным сечением и составим уравнение равновесия для одной из его частей

$$\frac{\pi D_t^2}{4} p_{bh} = 2\pi D_t \delta_n \sigma_{pr}. \quad (3.21)$$

Из него, находим σ_{pr} :

$$\sigma_{pr} = \frac{p_{bh}D_t}{8\delta_n}. \quad (3.22)$$

Сравнивая уравнения (3.20) и (3.22), делаем вывод, что поперечные напряжения в покрышке тора в 4 раза превышают продольные, направленные параллельно образующим его цилиндрической поверхности. Сравнивая же напряжения тора с напряжениями в цилиндрическом сосуде такого же диаметра [3–19], устанавливаем, что поперечные напряжения у них одинаковы, а продольные у тора в 2 раза меньше, чем у цилиндрического сосуда.

Расчет покрышки тора на прочность предлагается вести по максимальным поперечным напряжениям. Так как эти напряжения направлены вдоль шва, соединяющего концы покрышки, а перпендикулярные им напряжения в 4 раза меньше, то ослабляющее действие соединительного шва предлагается не учитывать (при использовании технических тканей для покрышки с нитями утка и основы одинаковой толщины).

Графическая интерпретация зависимости (3.20) показана на рис. 3.9–3.11. Из уравнения (3.20) могут быть получены все необходимые формулы для расчета покрышки тора при его нагружении по схеме «а» (см. рис. 3.7,а):

$$\sigma_{\text{поп}} = \frac{p_{\text{вн}} D_{\text{т}}}{2\delta_{\text{п}}} \leq [\sigma_p], \quad p_{\text{вн}} \leq \frac{2[\sigma_p]\delta_{\text{п}}}{D_{\text{т}}}, \quad \delta_{\text{п}} \geq \frac{p_{\text{вн}} D_{\text{т}}}{2[\sigma_p]}, \quad (3.23)$$

где $[\sigma_p]$ – допускаемые напряжения на разрыв материала покрышки, Па.

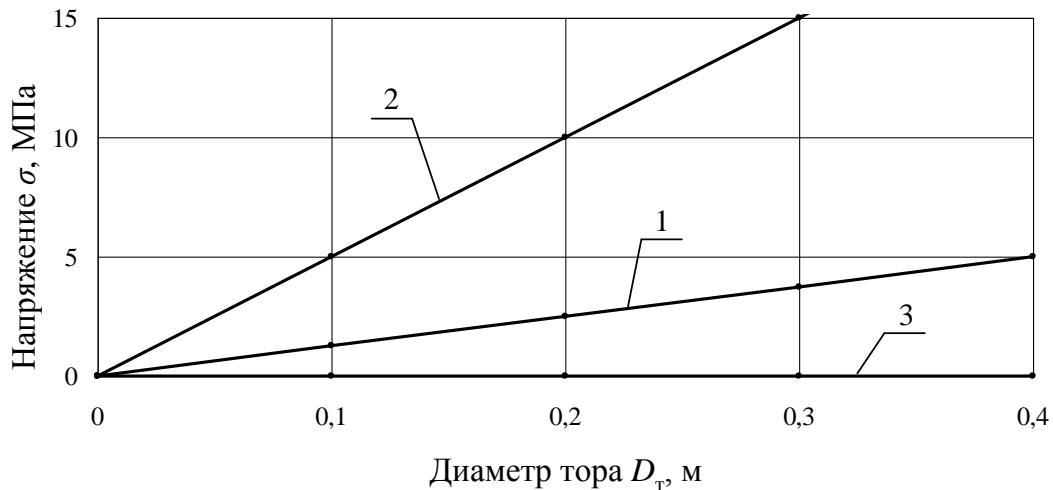


Рис. 3.9. Влияние диаметра тора, нагруженного по схеме «а» (см. рис. 3.7,а), на напряжения в его покрышке :

1 – продольные, 2, 3 – поперечные на цилиндрической и продольноосевой частях тора (при $\delta_{\text{п}} = 0,001$ м; $p_{\text{вн}} = 0,1$ МПа)

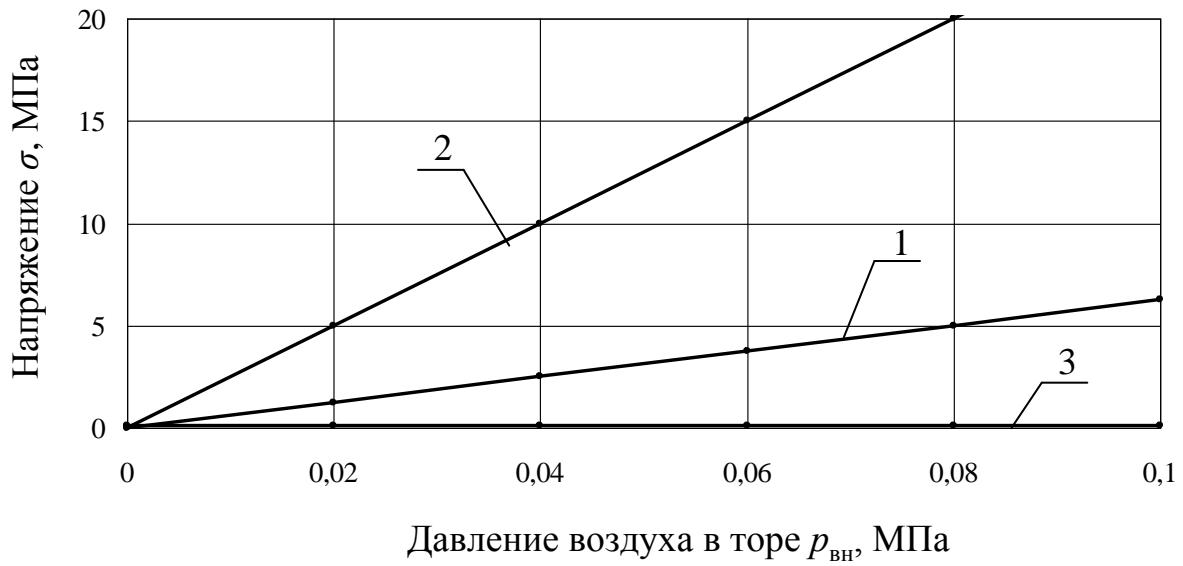


Рис. 3.10. Влияние давления воздуха в торе, нагруженном по схеме «а» (см. рис. 3.7,а), на напряжения в его покрышке :

1 – продольные, 2, 3 – поперечные на цилиндрической и продольноосевой частях тора (при $\delta_{\text{п}} = 0,001$ м; $D_{\text{т}} = 0,5$ м)

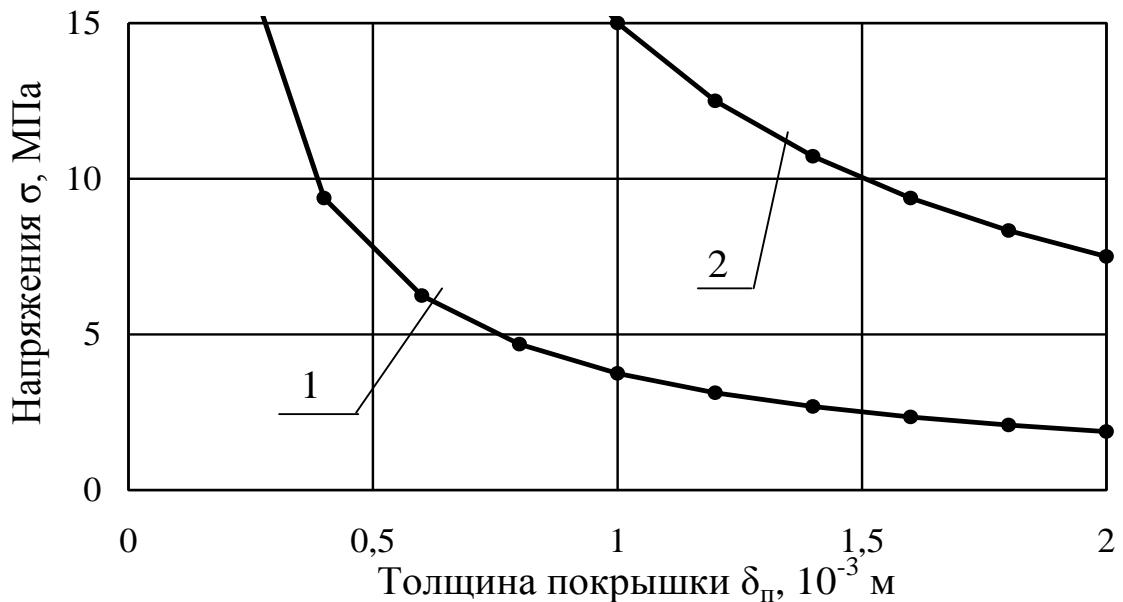


Рис. 3.11. Влияние толщины покрышки тора на её напряжённость :

1 – напряжения продольные; 2 – то же, поперечные при $p_{\text{BH}} = p_{\text{дв}} = 0,05$ МПа; $D = 0,3$ м

При нахождении накачанного воздухом тора вне трубопровода его скругленные и цилиндрические участки будут испытывать различные между собой, но постоянные во времени напряжения. В случае нахождения тора в трубе в неподвижном состоянии, цилиндрическая часть его покрышки разгружается трубопроводом, а напряжения сохраняются только в области скруглений и будут постоянными во времени. При качении тора внутри трубопровода, напряжения в каждой точке тора будут переменными, изменяясь от нуля (в момент нахождения этой точки на цилиндрической части тора) до максимального значения (в момент нахождения этой точки на скругленной части одного из концов тора).

Проанализируем напряжения в покрышке тора при наихудшем сочетании значений $p_{\text{вн}}$, D , и $\delta_{\text{п}}$, когда первые два являются максимальными, а третье минимально, т. е. при $p_{\text{вн}} = 0,1$ МПа, $D = 0,6$ м, $\delta_{\text{п}} = 0,001$ м. В этом случае получим $\sigma_{\text{поп}} = \frac{0,1 \cdot 0,06}{2 \cdot 0,001} \approx 30$ МПа, что примерно соответствует допускаемому напряжению на разрыв чеферной ткани. Поэтому при ремонте трубопроводов больших диаметров необходимо применять более прочную ткань либо ткань большей толщины.

Схема нагружения «б» (рис. 3.7, б) отличается от предыдущей схемы тем, что цилиндрическая часть тора разгружается трубой, таким образом, $\sigma_{\text{пр}} = 0$; $\sigma_{\text{поп}} = 0$. Однако, тем не менее, в ней от воздействия внутреннего давления воздуха и реакции трубы действуют направленные по нормали к поверхности тора напряжения смятия $\sigma_{\text{н}}$, равные внутреннему давлению воздуха: $\sigma_{\text{н}} = p_{\text{вн}}$. Очевидно, что наибольшие напряжения в покрышке для этой схемы будут в точках тора, которые расположены в сечениях А–А и В–В, максимально приближенных к цилиндрической части тора и в то же время находящихся вне разгружающего действия трубы. Напряжённое состояние в покрышке тора в точках этих сечений будет двухосным

(плосконапряжённым), а напряжения в них практически будут равны $\sigma_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{поп}}$ (теоретически меньше на предельно малую величину). Итак, с учётом сказанного, напряжения в покрышке тора при нагружении его по схеме «б» (см. рис. 3.7) будут равны

$$\sigma_{\text{н}} = p_{\text{вн}} \leq [\sigma_{\text{см}}]; \quad \sigma_{\text{поп}} = \frac{p_{\text{вн}} D}{2\delta_{\text{п}}} \leq [\sigma_{\text{п}}]; \quad \sigma_{\text{пр}} = \frac{p_{\text{вн}} D}{8\delta_{\text{п}}} \leq [\sigma_{\text{п}}], \quad (3.24)$$

где $\sigma_{\text{н}}$ – нормальные напряжения в покрышке тора, Па; $[\sigma_{\text{см}}]$ – допускаемые напряжения на смятие материала покрышки, Па.

Схема нагружения «в» (рис. 3.7, в) отличается от предыдущей схемы воздействием на тор движущего давления воздуха $p_{\text{дв}}$. При этом $p_{\text{дв}}$ не может быть больше $p_{\text{вн}}$ из-за перетечки воздуха через тор в правую часть трубопровода. Воздействие на тор движущего давления его длина и объём начнут уменьшаться, а давление воздуха в нём – увеличиваться на величину движущего давления воздуха с учётом коэффициента, учитывающего противодействие сокращению размеров тора со стороны его внутренней Y-образной складки. С учётом сказанного напряжение в наиболее опасном сечении А–А предлагается определять по формулам

$$\sigma_{\text{поп}} = \frac{(p_{\text{вн}} + k_y p_{\text{дв}})D}{2\delta_{\text{п}}} \leq \frac{[\sigma_{\text{п}}]}{k_{y,p}}; \quad \sigma_{\text{пр}} = \frac{(p_{\text{вн}} + k_y p_{\text{дв}})D}{8\delta_{\text{п}}} \leq \frac{[\sigma_{\text{п}}]}{k_{y,c}}, \quad (3.25)$$

а напряжения смятия в точках (сечения Б–Б) покрышки тора (между сечениями А–А и В–В) – по формуле

$$\sigma_{\text{н}} = p_{\text{вн}} + k_y p_{\text{дв}} \leq \frac{[\sigma_{\text{см}}]}{k_{y,c}}, \quad (3.26)$$

где k_y – коэффициент, учитывающий увеличение давления воздуха в торе при воздействии $p_{\text{дв}}$ и R_t ; $k_{y,p}$, $k_{y,c}$ – коэффициент усталости материала покрышки при циклической нагрузке на разрыв и смятие.

При значении $k_y = 1$ прочность покрышки тора будет определена с запасом.

Схема нагружения «г» (рис. 3.7, г) отличается от предыдущей схемы воздействием на тор реакции R_t со стороны перемещаемых рабочего органа и жидкой среды. Наиболее опасным сечением для рассматриваемой схемы является А–А, напряжённое состояние и напряжения в точках которого будут такими же, как и в предыдущей схеме (см. рис. 3.7, в), и, следовательно, могут быть определены по формуле (3.26). В других же сечениях, например В–В, напряжения будут отличаться.

Так как влияние циклической нагрузки на смятие незначительно, то $k_{y,c} \approx 1$. В случае использования тора для нанесения покрытий и замены покрышки после завершения работ на участке длиной L , число циклов её нагружения при $L < 1$ км не превысит 500, следовательно, в этом случае принимается $k_{y,p} \approx 1$.

По результатам вычислительного эксперимента при использовании реальных исходных данных установлено:

а) наиболее опасной для тора-разделителя схемой нагружения является работа с максимальными внутренним давлением и полезной рабочей (тяговой) нагрузкой;

б) напряжения в покрышке тора по сравнению с его нахождением в накачанном состоянии вне трубопровода превышают в 1,2 – 1,4 раза;

в) напряжения от смятия материала покрышки невелики, и ими можно пренебречь.

В результате исследования прочностных свойств тора-разделителя сделаны следующие выводы.

Получены выражения для определения напряжений в торообразном приводе и, в частности, в наиболее нагруженном его элементе, в покрышке. При этом, в отличие от известных методик расчёта цилиндрических и торообразных сосудов, работающих под давлением, а также несущих торообразных конструкций, в предлагаемой методике учитываются: цикличность нагружения; вытяну-

тость формы тора; множество различных схем нагружения привода, воздействия трубопровода и перемещаемых рабочих органов или жидких продуктов и сред.

При работе тора-разделителя наиболее опасной для него схемой нагружения является работа с максимальным внутренним давлением и полезной рабочей (тяговой) нагрузкой. Напряжения в покрышке тора, по сравнению с его нахождением в накачанном состоянии вне трубопровода, превышают в 1,4 раза.

Напряжения в покрышке накачанного тора, находящегося вне трубопровода, пропорциональны его диаметру, внутреннему давлению воздуха и обратно пропорциональны ее толщине. При этом максимальными напряжениями являются поперечные, которые в 4 раза превосходят продольные.

При нахождении тора в накачанном состоянии вне трубопровода на его покрышку действуют напряжения, постоянные во времени, однако величина их зависит от ориентации сечений и местоположения площадок на поверхности тора.

В процессе движения тора в трубопроводе цилиндрическая часть его покрышки находится в разгруженном трубой состоянии. Тем не менее вследствие перекатывания тора, напряжения в каждой его материальной точке изменяются от нуля до максимальных значений.

3.3. Изготовление торов-разделителей

Совместно с центральной заводской лабораторией Красноярского шинного завода были разработаны технические условия и технологический регламент на изготовление тороидальных резиновых камер для торов-разделителей и торов-уплотнителей. Технология изготовления тороидальных резиновых камер в заводских условиях включает следующие операции: изготовление рукава, обрезку

по размеру, установку ниппеля, выворачивание заготовок рукавов, стыковку и последующую вулканизацию.

Фотофрагменты технологии изготовления тороидальных камер из сырой резины представлены на рис. 3.12.

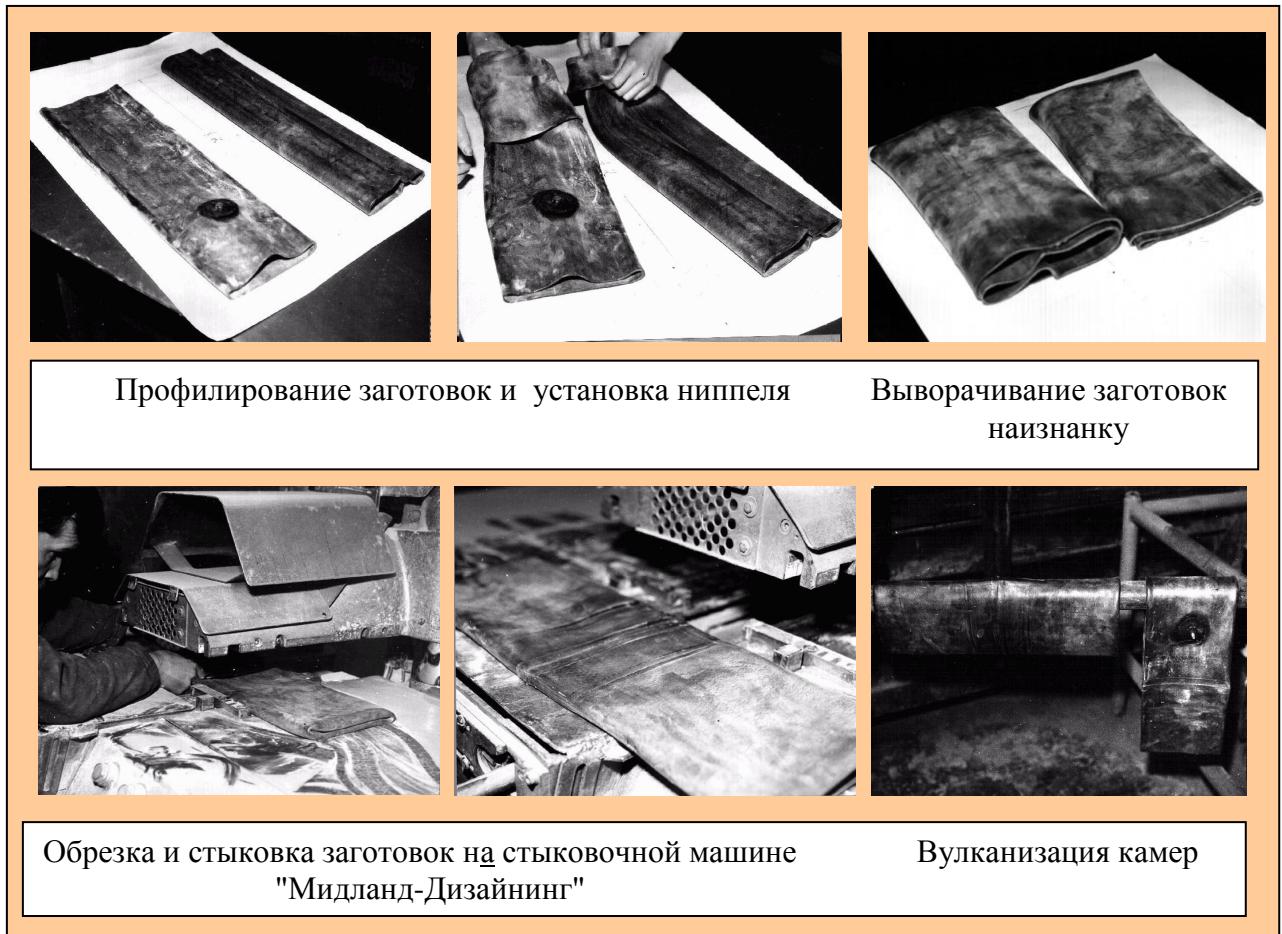


Рис. 3.12. Фотофрагменты технологии изготовления тороидальных камер из сырой резины

Смесь со склада резиновых смесей поступает к смесительным вальцам, разогревается и подается на шприцевальную машину для профилирования заготовок рукавов. При профилировании рукав непрерывно охлаждается водой с температурой от 14 до 16 °С с последующей обдувкой. С внутренней стороны рукав припудривается сухим тальком под давлением воздуха 0,15 МПа, а с наружной стороны опрыскивается сусpenзией, состоящей из воды и талька.

Перед стыковкой на рукаве, отрезанном на требуемую длину, на расстоянии 0,15 м от его конца пробивают отверстие диаметром 5 мм и приклеивают обрезиненный ниппель для камер легковых автомобилей с предварительно обрезанной трубкой. Затем концы рукава выворачивают наружу, выравнивают по торцам навстречу друг другу, после чего заготовки поступают на стыковку.

Вулканизация тороидальных резиновых камер осуществляется в пропарочном котле горизонтального типа при температуре от 115 до 151 $^{\circ}\text{C}$. Общая продолжительность вулканизации около 26 мин. Заготовки перед загрузкой в котел одеваются на металлическую трубу (дорн) и вулканизируются в подвешенном виде.

Красноярским шинным заводом освоен выпуск четырех типоразмеров тороидальных камер для торов-разделителей, представленных в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Размеры тороидальных резиновых камер

№ п/п	Размеры тороидальных резиновых камер			Диапазон диаметров изолируемых труб, мм	
	Диаметр, мм	Длина, мм	Толщина стенки, мм	от	до
1	45	200-400	1,7	50	150
2	100	400-800	2,0	120	300
3	200	1200-1500	3,0	250	600
4	300	1500-2000	3,5	350	900

Каждая партия готовой продукции проходит внутризаводской контроль: разбраковку и определение основных параметров в соответствии с ТУ (табл. 3.2)

Таблица 3.2

Физико-технические показатели резины для изготовления тортов

Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1. Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	13,7	ГОСТ 270–75
2. Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	500	ГОСТ 270–75
3. Относительное остаточное удлинение, %, не более	30	ГОСТ 270–75
4. Условная прочность при растяжении стыка камеры (при торцевой стыковке), МПа, не менее	50 % от нормы на условную прочность при растяжении резины камеры	ГОСТ 270–75
5. Сопротивление раздиру, кН/м	64	ГОСТ 262–79
6. Прочность связи резины камеры с резиновой пяткой ниппеля, Н/м	1,8	ГОСТ 4754–80

Тороидальные покрышки из прочной ткани обеспечивают форму тора-разделителя и защищают резиновую тороидальную камеру от механических повреждений, а также обеспечивают герметичность внутренней части тора-разделителя.

Для изготовления покрышек сначала шьют рукав длиной, соответствующий сумме двух длин тора-разделителя (с припуском 0,1 м на поперечный шов) и диаметра изолируемой трубы (с припуском 0,05 м на продольный шов). Затем конец рукава пропускают через середину тороидальной резиновой камеры, с припуском на длину тора. Свободный конец выворачивают наизнанку и надевают сверху резиновой камеры. Концы рукава покрышки совмещают и

прошивают по периметру тройным поперечным швом. В области ниппеля в покрышке делают отверстие для закачивания воздуха.

Схема изготовления покрышек для торов-разделителей представлена на рис. 3.13.

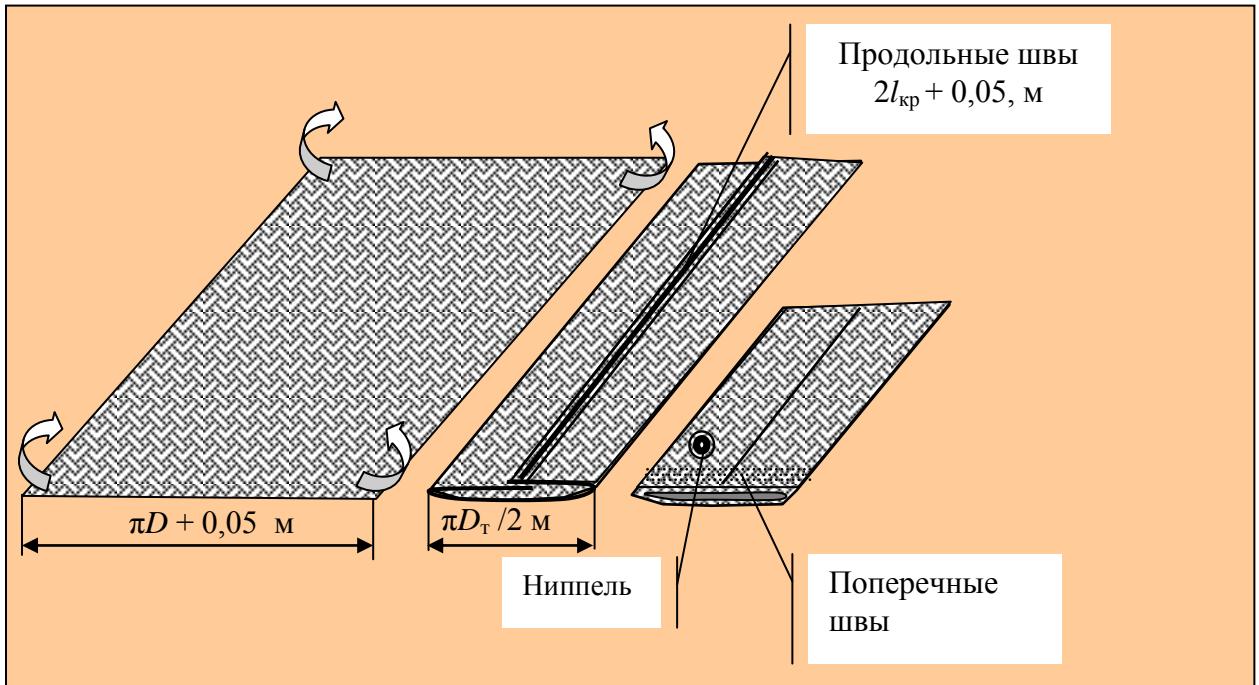


Рис. 3.13. Схема изготовления покрышки для торов-разделителей

Без покрышки торы-разделители не работают, так как в торце тороидальных камер из-за эластичных свойств резины, при накачивании камер воздухом, образуются “грыжи”, препятствующие движению торов в трубопроводе.

3.4. Результаты исследования процесса движения тора внутри трубопровода

Совершенствование технологических процессов, включая и принципиально новые конструкторские разработки, базируется, как правило, на предшествующем опыте без должного научного обоснования, что затрудняет выбор оптимальных вариантов [42–44].

Поскольку использование торов в качестве основных рабочих органов, обеспечивающих внутреннюю изоляцию трубопроводов, представляет, по существу, новый способ реализации технологического процесса, то наиболее надежным методом получения информации для оценки его работы следует считать эксперимент.

Экспериментальные исследования движения торов представляют интерес с точки зрения оценки эффективности процесса перемещения торов внутри трубы. Программой экспериментального исследования было предусмотрено определение:

- оптимальных размеров тора;
- оптимального давления в торах-разделителях и торах-уплотнителях;
- разности давлений воздуха в трубопроводе для перемещения торов-разделителей и защитного состава;
- оптимальной скорости движения торов в трубопроводе.

3.4.1. Определение оптимальных размеров тора

Начальные размеры тороидальных резиновых камер определялись с учетом физико-механических свойств резины и исследуемых диаметров трубопроводов (табл. 3.1 и 3.2).

Для определения оптимального диаметра тороидальной резиновой камеры из ткани были изготовлены покрышки разных диаметров, в которые помещали тороидальные резиновые камеры одного размера и раздували их до диаметра покрышки. В результате исследований было установлено, что при раздуве тороидальных резиновых камер более 300 %, от начального диаметра значительно увеличивается сопротивление движению качением тора-разделителя в трубе.

Аналогичные исследования выполнялись по определению длины тора-разделителя. Было установлено, что для прямолиней-

ных участков трубопровода длина тора-разделителя должна соответствовать трем и более диаметрам изолируемой трубы, а для криволинейных участков (рис. 3.14) – не менее четырем диаметрам трубы.

$$\begin{aligned}
 \text{Расчет длины тора-разделителя: } l_{\text{тора}} &= 2\pi r_2/4 + D/2 + D/2 = \\
 &= 2\pi 2D/4 + D = D(\pi + 1) = D(3,14 + 1) = 4,14D_{\text{тр.}}; \\
 l_{\text{тора}} &> 4D. \tag{3.27}
 \end{aligned}$$

Это обусловлено тем, что при меньшей длине тора не будет обеспечена плавность хода тора-разделителя и герметичность в поперечном сечении.

Для прохождения криволинейных участков трубопроводов необходимо создать возможность изгиба тора-разделителя, для этого на покрышку рекомендуется нашивать поперечные пояса диаметром $2/3$ диаметра тора-разделителя на расстоянии друг от друга не более диаметра тора-разделителя.

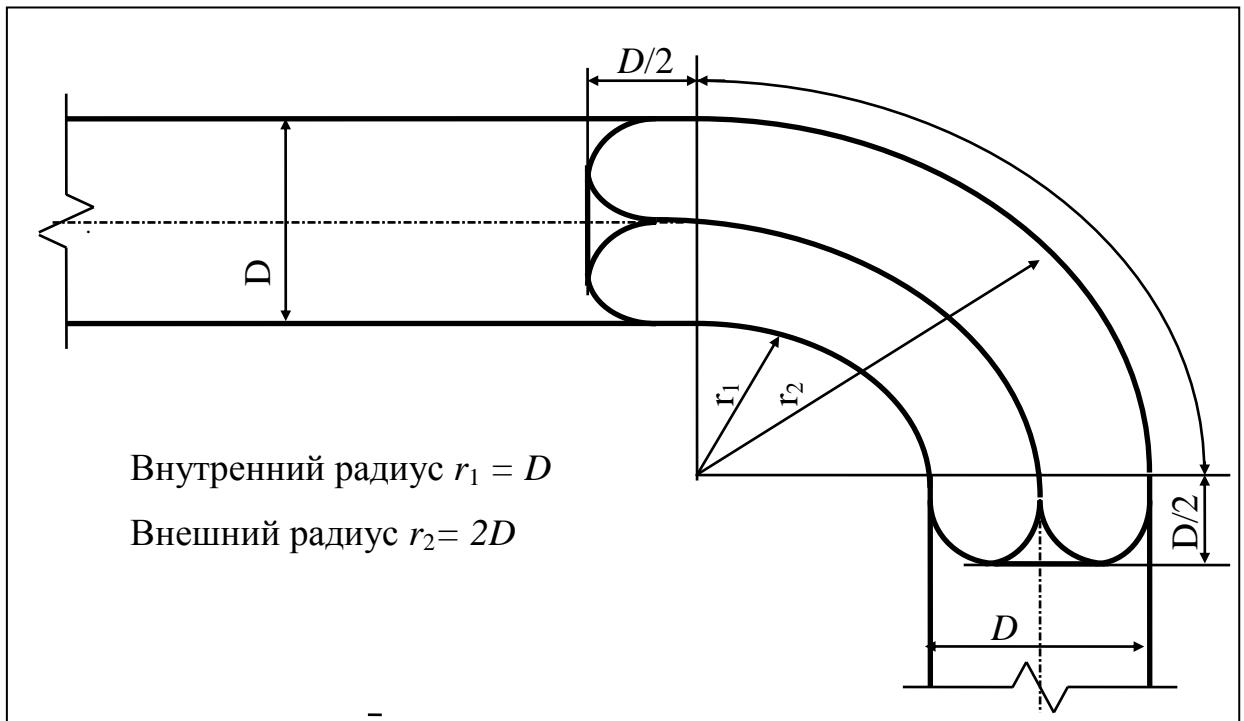


Рис. 3.14. Схема расчета длины тора-разделителя

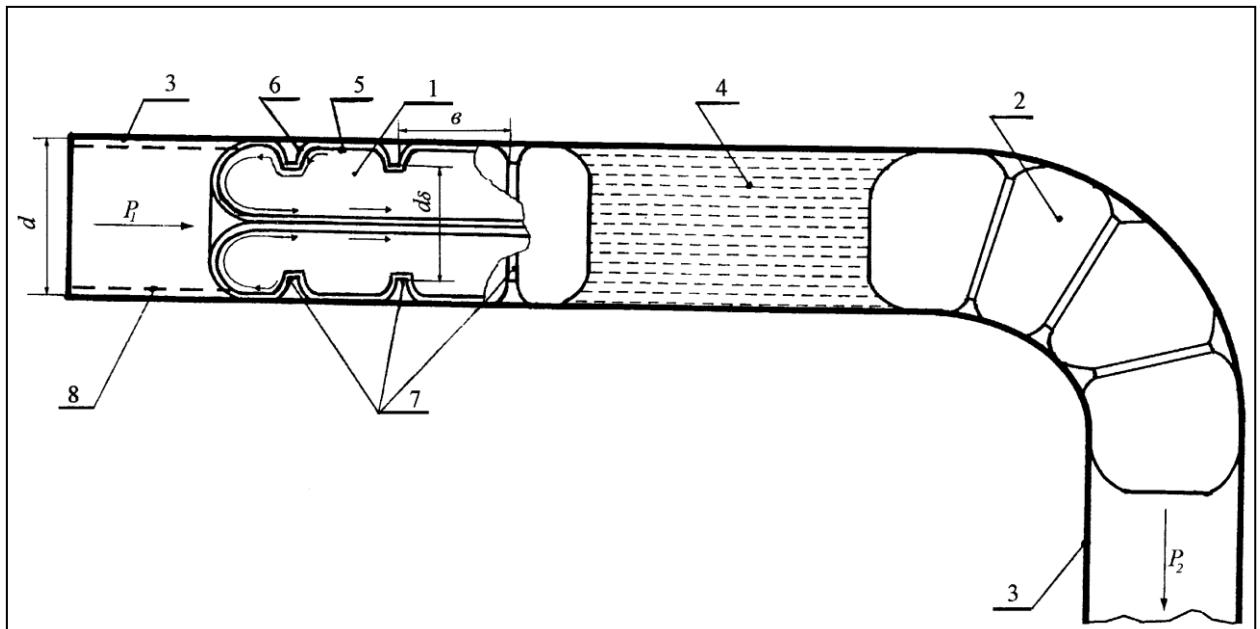


Рис. 3.15. Схема окрасочной изоляции внутренней поверхности криволинейных участков трубопровода :

1 и 2 – торы-разделители; 3 – изолируемый трубопровод; 4 – защитный состав; 5 – тороидальная резиновая камера; 6 – покрышка; 7 – поперечные пояса; 8 – защитное покрытие

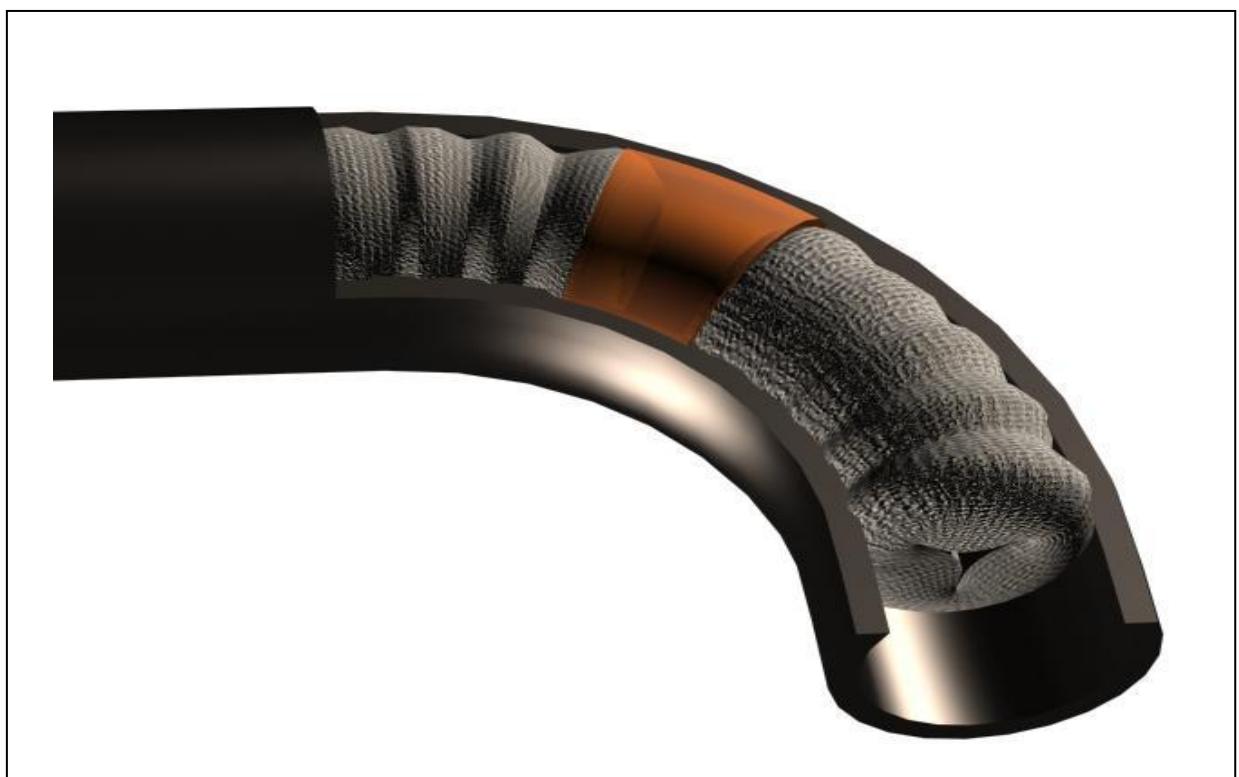


Рис. 3.16. Фрагмент окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов на криволинейных участках

Количество поясов (рис. 3.15, 3.16) рассчитывается по формуле

$$n = \frac{2l_{\text{tp}}}{D_{\text{t}}}, \quad (3.28)$$

где n – количество поясов; l_{tp} – длина тора-разделителя, м; D_{t} – диаметр тора, м.

3.4.2. Определение оптимального давления воздуха в торах-разделителях и торах-уплотнителях

Для определения оптимального давления воздуха исследуемый тор-разделитель в спущенном состоянии помещали в начало трубопровода. Затем через ниппель подавали сжатый воздух от компрессора и фиксировали изменение диаметра тора-разделителя и давления воздуха. В результате установлено, что минимальное давление в торе-разделителе должно быть не менее 0,03 МПа, что необходимо для раздува начального диаметра тора до диаметра трубы. Оптимальное давление в торе-разделителе, обеспечивающее контакт с внутренней поверхностью трубы и достаточное уплотнение внутренней части тора, составляет 0,06–0,08 МПа.

Давление воздуха в торах-уплотнителях определялось расчетным (3.29) и опытным путем и составило 0,1–0,2 МПа:

$$p_{\text{вн}} \geq \frac{2,5 \cdot p_{\text{и}} \cdot D}{l_{\text{т.у}} \cdot f_{\text{p-c}}}, \quad (3.29)$$

где $p_{\text{вн}}$ – давление воздуха в торе-уплотнителе, МПа; $p_{\text{и}}$ – разность давлений воздуха в трубопроводе, МПа; $l_{\text{т.у}}$ – длина тора-уплотнителя, м; $f_{\text{p-c}}$ – коэффициент трения скольжения резины по стали.

Пример расчета:

$$p_{\text{и}} = 0,05 \text{ МПа}; D = 0,3 \text{ м}; l_{\text{т.у}} = 0,3 \text{ м}; f_{\text{p-с}} = 0,83;$$

$$p_{\text{ai}} \geq \frac{2,5 \cdot p_{\text{e}} \cdot D}{l f_{\text{d-н}}} = \frac{2,5 \cdot 0,05 \cdot 0,3}{0,3 \cdot 0,83} = 0,15 \text{ МПа.}$$

3.4.3. Определение скорости и разности давлений воздуха в трубопроводе при перемещении торов-разделителей и защитного состава

Данные исследования проводились на лабораторной установке и в полевых условиях при нанесении полимерного состава окрасочным способом на внутреннюю поверхность оросительных трубопроводов на территории Хакасии. Лабораторные исследования проводились в стеклянных трубах $D = 87 \text{ мм}$, $D = 110 \text{ мм}$, $D = 150 \text{ мм}$ и металлических трубах $D = 110 \text{ мм}$, $D = 219 \text{ мм}$, $D = 300 \text{ мм}$, $D = 426 \text{ мм}$ длиной до 12 м, а в опытно-производственных условиях – на трубопроводах $D = (300–325) \text{ мм}$ и $D = 600 \text{ мм}$ при длине участков от 100 до 1000 м.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.17.

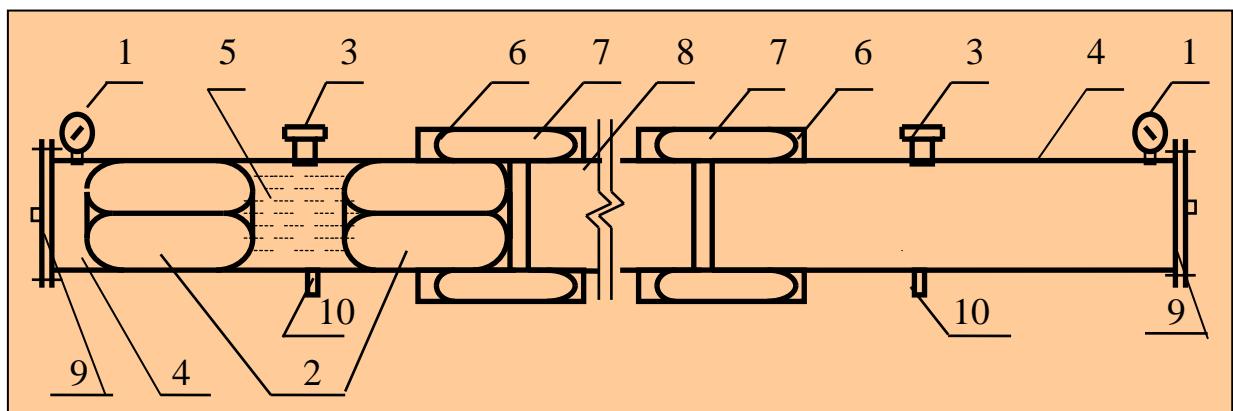


Рис. 3.17. Схема лабораторной установки для окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов :

1 – мановакуумметр; 2 – тор-разделитель; 3 – люк с пробкой для заливки полимерного состава; 4 – заправочная камера; 5 – полимерный состав; 6 – уп-

лотнительная обойма; 7 – тор-уплотнитель; 8 – изолируемая труба; 9 – съемные фланцы; 10 – сливной кран

Изолируемая труба 8 устанавливается в горизонтальное положение. К обоим концам трубы, соосно с ней, подсоединяют заправочные камеры 4, из отрезков труб диаметром, равным диаметру изолируемого трубопровода 8.

Заправочные камеры оснащены соединительными муфтами, включающими уплотнительную обойму 6 и тор-уплотнитель 7. Каждая камера имеет мановакуумметр 1, люк с пробкой для заливки полимерного состава 3, сливной кран 10 и съемные фланцы 9.

Установка работает следующим образом. Сначала в одну из заправочных камер 4 при открытом люке 3 вводят торы-разделители 2. Расстояние между ними устанавливается исходя из объема полимерного состава 5. Затем перекрывают сливной кран 10 и устанавливают съемные фланцы 9. Через люк заливают окрасочный состав до полного заполнения объема между торами-разделителями и устанавливают пробку. После этого соединяют и герметизируют концы изолируемой трубы 8 с заправочными камерами 4 с помощью уплотнительной обоймы 6 и тора-уплотнителя 7, принудительно накатываемых на стык.

Перемещение торов-разделителей 2 и защитного состава 5 осуществляется за счет создания избыточного давления воздуха со стороны заправочной камеры, в которой установлены торы-разделители 2, либо под вакуумом, создаваемым с противоположного конца в приемной камере 4. Скорость движения торов-разделителей регулируется расходом воздуха.

Изоляция труб с использованием рассмотренной установки выполняется челночным способом, т. е. при одной заправке окрашивается до 10 труб за счет пропуска торов-разделителей и полимерного состава, то в одну, то в другую сторону, с заменой изоли-

руемых труб. При необходимости можно производить дозаправку полимерного состава. По завершении работ его остатки сливаются через сливной кран 10.

Величина разности давления воздуха, создаваемого в трубопроводе для перемещения одного тора-разделителя, определялась следующим образом: в начало трубопровода устанавливали один тор-разделитель и накачивали его воздухом до 0,03 МПа, затем ставили заглушку и создавали разность давления воздуха в трубопроводе. Величину давления фиксировали по показанию манометра в момент начала движения тора-разделителя и в процессе его перемещения в трубопроводе.

Данные испытания проводились при давлениях воздуха в торе-разделителе 0,03; 0,04; 0,05 и т.д. до 0,1 МПа. Результаты исследования представлены на графике (рис. 3.18).

Аналогичные испытания выполнены для двух торов-разделителей и заполненного между ними полимерного состава (рис. 3.18).

Разность давления воздуха при перемещении одного тора-разделителя в трубе составляет до 0,015 МПа, двух торов-разделителей и защитного состава, заполненного между ними от 0,02 до 0,04 МПа. При этом диаметр труб на величину разности давления воздуха в трубопроводе практически не влияет.

Исследование движения тора внутри криволинейных трубопроводов показало, что торовый аппарат способен преодолевать изгибы трубопровода от 120 до 180 градусов. При прохождении изгиба трубопровода с углом $\alpha = 160^\circ$ необходимо увеличение движущего давления воздуха в 1,25 раза, при $\alpha = 140^\circ$ – в 1,7 раза, при $\alpha = 120^\circ$ – в 4 раза. Необходимость значительного увеличения движущего давления объясняется чрезмерной деформацией тора.

Зависимость давления воздуха в торах-разделителях от разности давления воздуха в трубопроводе при движении торов качени-

ем показывает, что с увеличением давления в торах увеличивается сопротивление их перемещению.

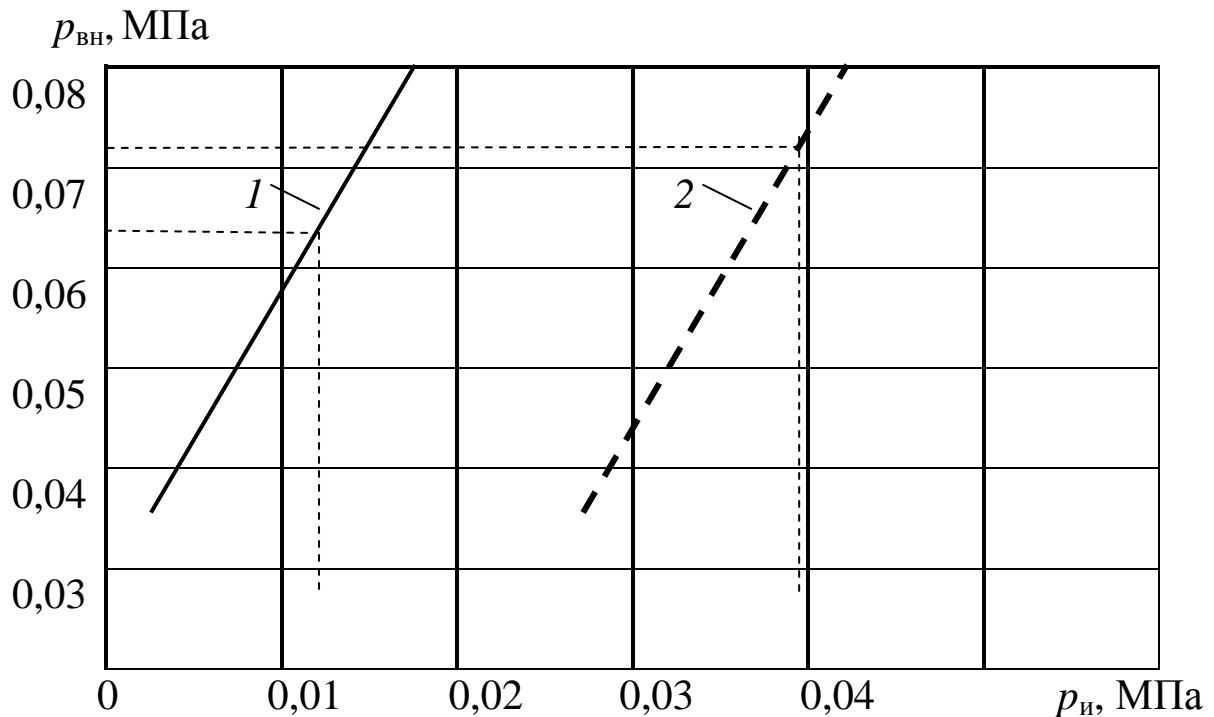


Рис. 3.18. Зависимость давления воздуха в торах-разделителях от разности давлений воздуха в трубопроводе при качении торов:

1 – для одного тора-разделителя; 2 – для двух торов-разделителей и защитного состава

Скорость перемещения торов-разделителей определялась по этой же схеме, в данном случае фиксировались длина участка трубопровода и время его прохождения торами-разделителями при заданном расходе воздуха.

Установлено, что величина скорости перемещения торов-разделителей прямо пропорциональна величине расхода воздуха, поступающего в трубу, и обратно пропорциональна площади поперечного сечения трубопровода.

На основании выполненных исследований была построена диаграмма (рис. 3.19). Пользование диаграммой показано стрелками.

Уравнение, связывающее зависимость скорости движения толов-разделителей от расхода воздуха, может быть представлено в следующем виде:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \pi D^2 / 4 . \quad (3.30)$$

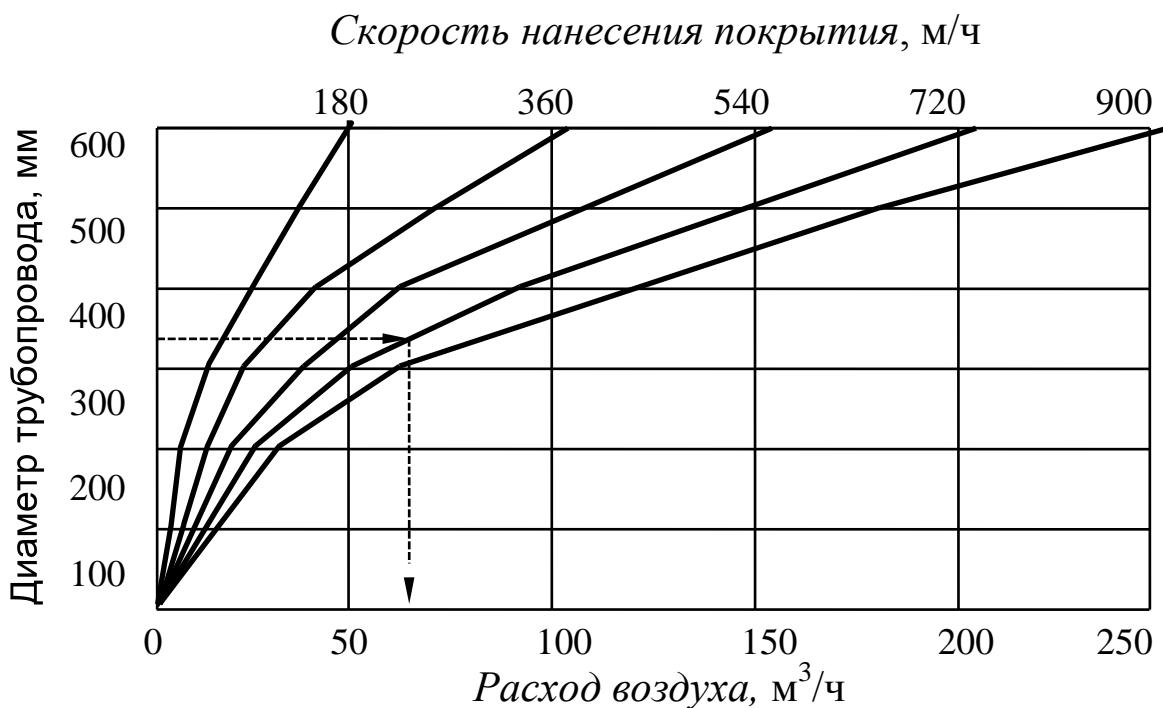


Рис. 3.19. Диаграмма по определению расхода воздуха для нанесения защитного состава с заданной скоростью

На основе диаграммы (рис. 3.19) можно установить необходимый расход воздуха для передвижения толов с заданной скоростью и подобрать компрессор.

На базе лабораторной установки, по заказу ВНК ОАО “Томскнефть” для цеха антикоррозионных покрытий труб в г.Стрежевой, была разработана и изготовлена линия ЛВИТ-500 для внутренней изоляции одной, двух и трех труб длиной от 6 до 36 м и диаметром от 114 до 500 мм.

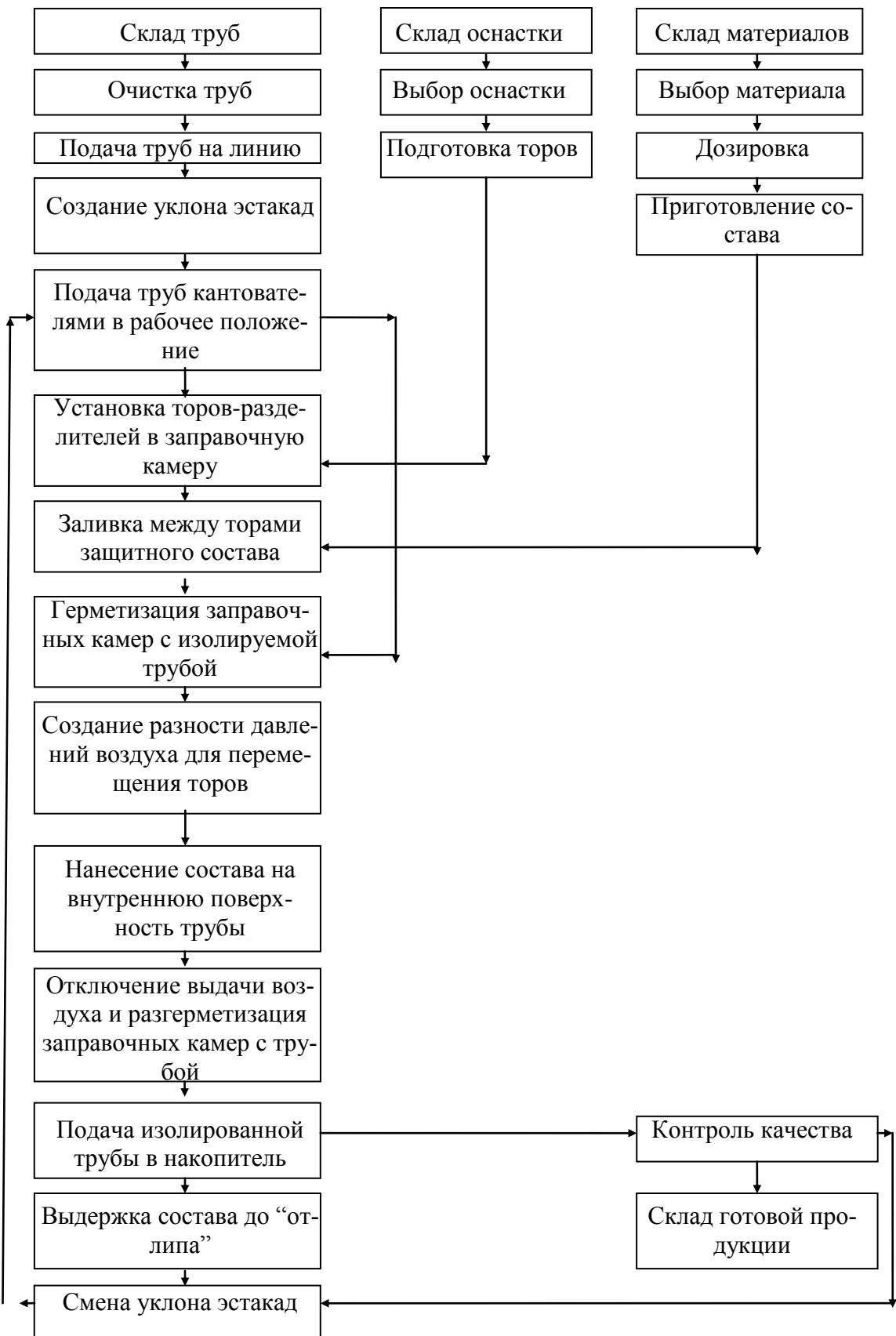


Рис. 3.20. Технологическая схема работы линии ЛВИТ-500

Технические данные линии ЛВИТ-500

Диаметр изолируемых труб, мм	100 – 500
Длина изолируемых труб, м	до 36
Разовая загрузка труб на линию, шт.	от 6 до 30
Рабочее давление гидросистемы, МПа.	10
Разность давлений воздуха при изоляции труб, МПа	0,03
Рабочее давление в торах-уплотнителях, МПа. . .	0,1
Рабочее давление в торах-разделителях, МПа. . .	до 0,07
Потребляемая мощность, КВт	до 12

Технологическая схема работы линии ЛВИТ-500 представлена на рис. 3.20. Данная линия была изготовлена в механических мастерских Красноярского института ПромСтройНИИПроект. Доставка готовой линии ЛВИТ-500 от Красноярска до пункта назначения (г. Стрежевой) осуществлялась двумя полуприцепами на базе автомобилей КамАЗ.

3.5. Результаты отработки технологических параметров на- несения защитных покрытий на внутреннюю поверхность трубопроводов окрасочным способом

Результаты экспериментальных исследований по определению скорости перемещения торов в трубопроводе, выполненных на трубах диаметром 100, 300 и 600 мм, соответствуют расчетным данным, представленным на диаграмме (см. рис. 3.19). Оптимальная скорость перемещения торов-разделителей в трубопроводе составляет от 350 до 1000 м/ч, при которой создаются условия плавного движения качением торов-разделителей и качественного нанесения защитного состава на внутреннюю поверхность трубопровода.

Расход защитного состава для разных диаметров и длины труб определялся в лабораторных и опытно-производственных условиях и соответствует расчетным данным, представленным на рис. 3.21.

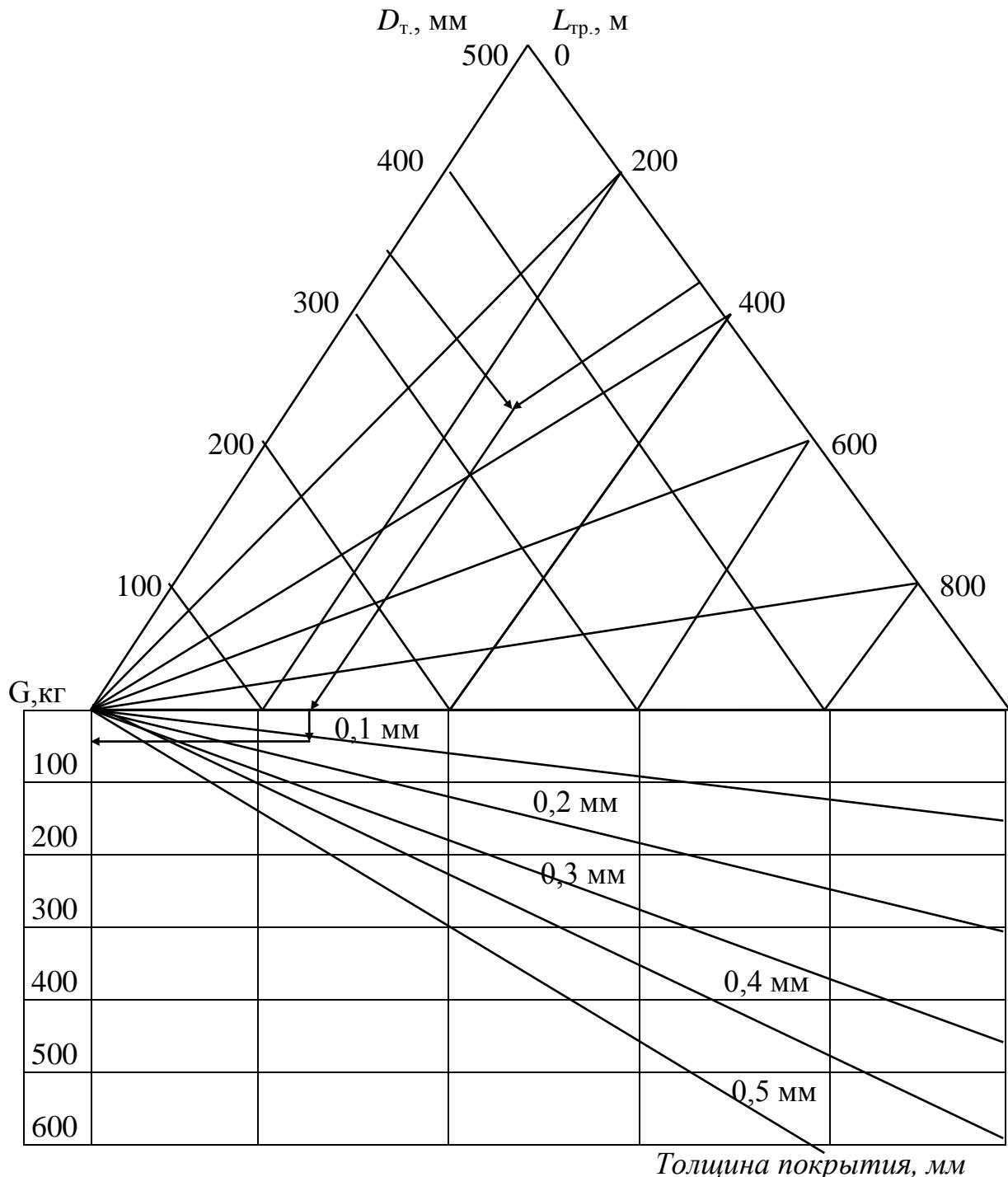


Рис. 3.21. Диаграмма для определения расхода полимерного состава

Толщина слоя полимерного покрытия, при его нанесении данным методом, составляет 0,1–0,5 мм и зависит от давления воздуха в торах-разделителях и скорости их перемещения, а также от вязкости защитного состава и рельефа поверхности тканевых покрышек торов-разделителей.

Исследования по определению расхода защитного состава при нанесении окрасочной изоляции на внутреннюю поверхность труб выполнялись по следующей методике. Сначала взвешивались два тора-разделителя на платформенных весах (РП-150 Ц13) с точностью ± 10 г и устанавливались в начало трубопровода. Затем приготавливался защитный состав в заведомо большем объеме, взвешивался и закачивался между торами-разделителями. Остатки состава вместе с тарой опять взвешивались. Разность начального и конечного весов определяла массу залитого состава между торами-разделителями.

После нанесения полимерного состава замерялась длина изолируемого участка трубопровода и внутренний диаметр трубы с целью определения площади внутренней поверхности трубопровода. Остатки полимерного состава и торы-разделители, извлеченные из трубопровода после нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубопровода, взвешивались. По завершении опытов выполнялся расчет расхода защитного состава по формулам:

$$Q_3 = G / S_3, \quad (3.31)$$

где Q_3 – расход защитного состава, $\text{кг}/\text{м}^2$; G – масса защитного состава, нанесенного на внутреннюю поверхность трубопровода, кг; S_3 – площадь заизолированной внутренней поверхности трубы, м^2 ,

$$G = G_h - G_k - (G_{t3} - G_{t.c}), \quad (3.32)$$

где G_h – начальная масса состава с тарой, кг; G_k – конечная масса состава с тарой, кг; G_{t3} – масса двух торов-разделителей, смоченных составом, кг; $G_{t.c}$ – масса двух сухих торов-разделителей, кг.

3.6. Разработка оснастки и выбор оборудования для изоляции трубопроводов окрасочным способом

В процессе исследований по отработке технологии возник ряд проблем, связанных с размещением защитного состава между торами-разделителями и уплотнением входной части трубопровода.

Для герметизации входной части трубопровода была разработана и изготовлена специальная заглушка (рис. 3.22).

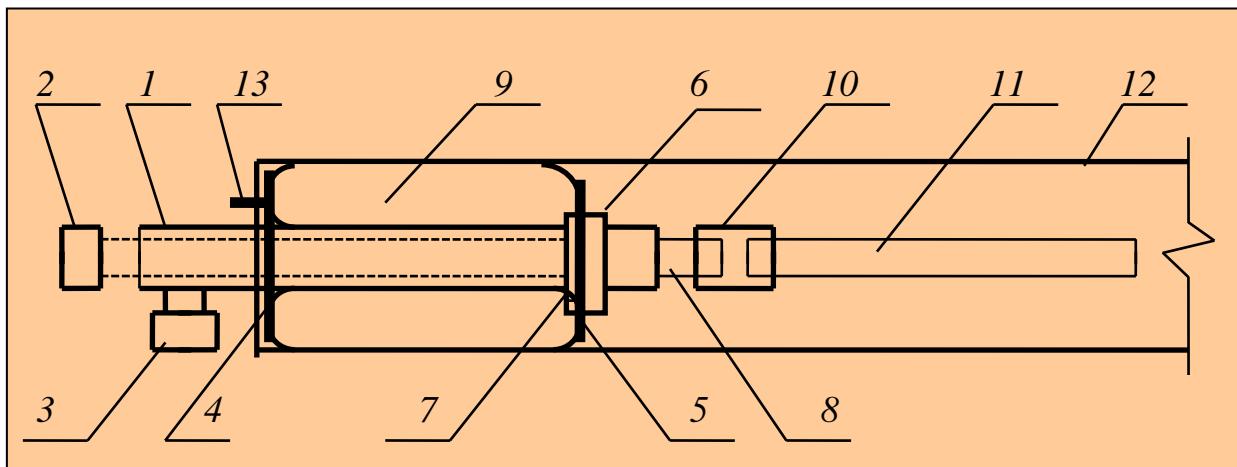


Рис. 3.22. Заправочное уплотнительное устройство :

1 – трубный корпус; 2 – подвод защитного состава; 3 – подвод воздуха; 4 и 5 – фланцы-ограничители; 6 и 7 – гайки; 8 и 11 – трубы для заправки защитного состава; 9 – тор-уплотнитель; 10 – соединительная муфта; 12 – изолируемая труба; 13 – ниппель тора-уплотнителя

Заглушка включает тор-уплотнитель 9, устанавливаемый на трубе 1 между съемными фланцами-ограничителями 4 и 5. Закачка и спуск воздуха из камеры тора-уплотнителя производится через вентиль 13. Входная часть заглушки оснащена штуцером для подвода воздуха и гнездом для манометра.

При производстве работ по нанесению покрытия окрасочным способом заглушку в полуспущенном состоянии тора-уплотнителя устанавливают в начало трубопровода так, чтобы фланцы-

ограничители вошли в трубу. Затем через ниппель 13 тор-уплотнитель накачивают воздухом до 0,1–0,2 МПа.

Для решения проблемы закачки защитного состава между торами-разделителями было разработано три варианта.

Вариант 1. В верхней части трубопровода на расстоянии двух метров от его начала вваривается люк с пробкой для закачки защитного состава (рис. 3.23). Затем в начало трубопровода последовательно вводятся два тора-разделителя 1 и заглушка 2. После установки заглушки в рабочее положение через люк 3 заливают расчетное количество защитного состава, определяемое по диаграмме (см. рис. 3.21). Для заполнения полости трубы между торами-разделителями защитный состав сначала заливают через воронку до полного вытеснения воздуха.

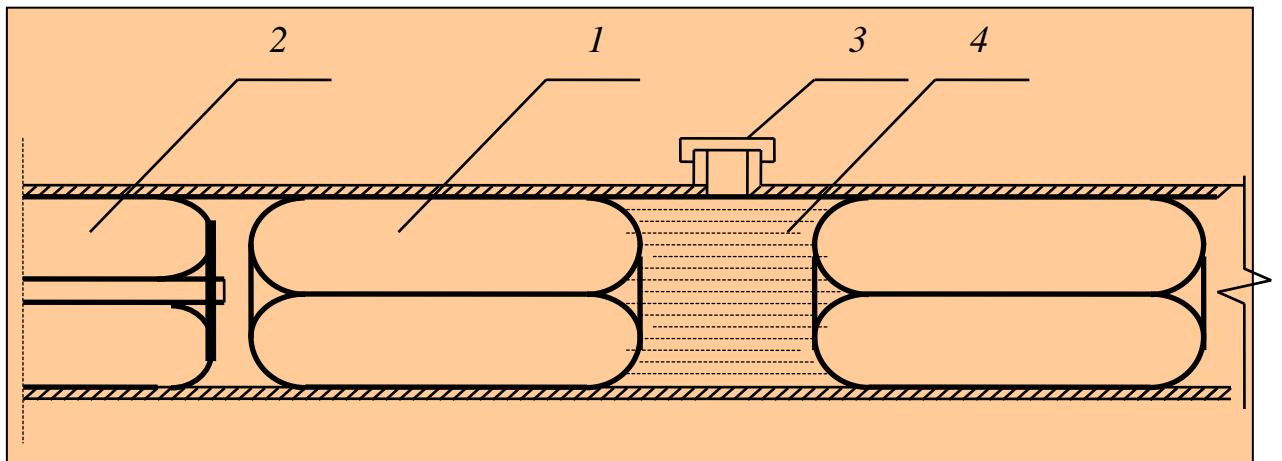


Рис. 3.23. Схема заливки состава через люк с пробкой :
1 – тор-разделитель; 2 – заглушка с тором-уплотнителем; 3 – люк с пробкой;
4 – защитный состав

Вариант 2. Сначала по формуле (3.33) рассчитывается расстояние между торами-разделителями. Затем через люк под давлением закачивают остаток защитного состава, при этом торы-разделители раздвинутся на величину L , определенную по формуле

$$L = \frac{4V_n}{1000\pi D^2}, \quad (3.33)$$

где L – начальное расстояние между торами-разделителями, м; V_c – расчетный объем защитного состава, л.

После этого люк закрывают пробкой, и начинается процесс изоляции внутренней поверхности трубопровода.

Затем в начало трубопровода (рис. 3.24) вводятся торы-разделители, причем первый тор-разделитель устанавливается на расстоянии $L + l_{tr}$.

При установке второго тора-разделителя его приспускают и устанавливают в начало трубопровода, затем между тором-разделителем и сводом изолируемой трубы вставляют трубку Г-образной формы с воронкой на конце. Перед заливкой защитного состава тор-разделитель накачивают воздухом до рабочего давления 0,05 МПа. Затем через воронку заливают расчетное количество защитного состава. При этом воздух, вытесняемый составом, выходит через неплотность вокруг Г-образной трубки. После этого тор-разделитель вкатывают в трубопровод и освобождают Г-образную трубку. Затем устанавливают заглушку и начинают процесс нанесения изоляционного покрытия.

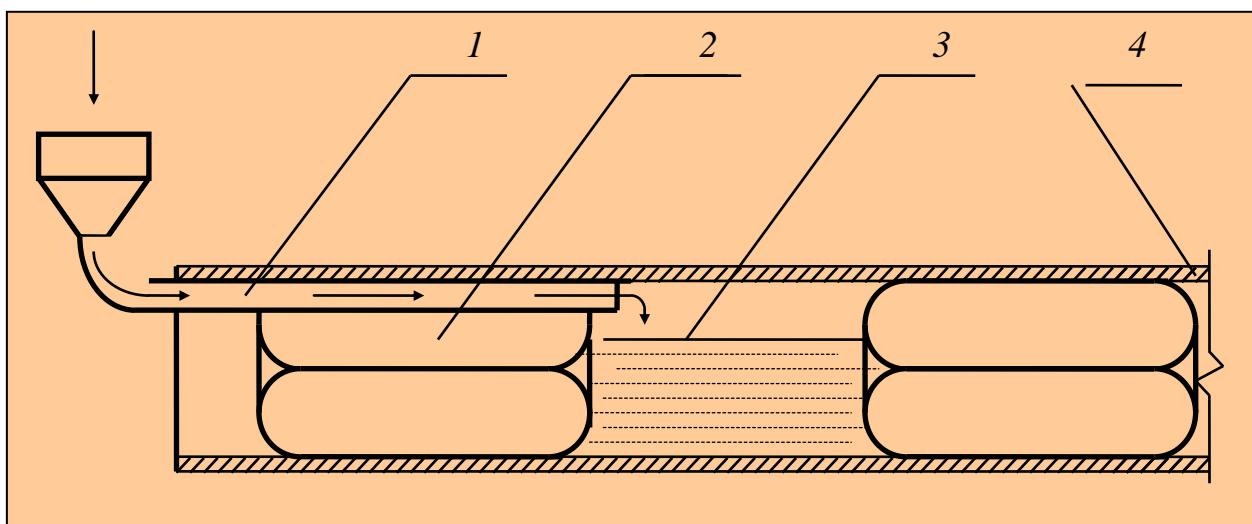


Рис. 3.24. Схема заливки полимерного состава через Г-образную трубу :
1 – Г-образная труба; 2 – тор-разделитель; 3 – защитный состав; 4 – трубопровод

Вариант 3. Торы-разделители последовательно вводят в начало трубопровода (рис. 3.25) и устанавливают друг за другом. При этом в середину второго тора-разделителя вставляют трубку для закачки защитного состава между торами. Затем устанавливают заглушку и накачивают тор-уплотнитель сжатым воздухом до рабочего давления 0,1–0,2 МПа.

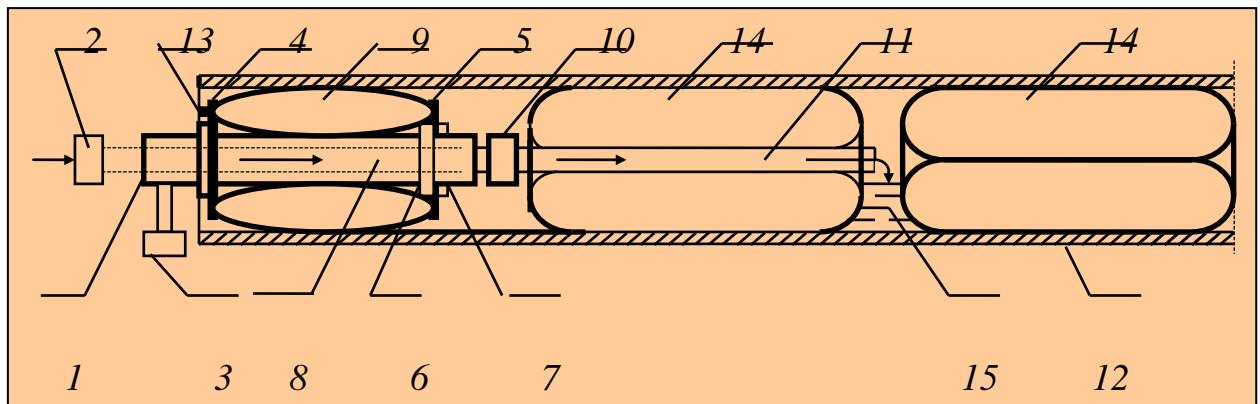


Рис. 3.25. Схема закачки полимерного состава через середину последнего тора-разделителя :

1 – трубный корпус; 2 – подвод защитного состава; 3 – подвод воздуха; 4 и 5 – фланцы-ограничители; 6 и 7 – гайки; 8 и 11 – трубы для заправки защитного состава; 9 – тор-уплотнитель; 10 – соединительная муфта; 12 – трубопровод; 13 – ниппель тора-уплотнителя; 14 – торы-разделители; 15 – защитный состав

После закачки расчетного объема защитного состава начинают процесс нанесения покрытия.

Все три варианта прошли апробацию в лабораторных и опытно-производственных условиях. Из них менее трудоемким и наиболее производительным является вариант 3.

Перечень оборудования и оснастки для нанесения изоляции на внутренние поверхности трубопроводов окрасочным способом представлен в следующем разделе главы.

3.7. Организация работ по окрасочной изоляции трубопроводов в трассовых условиях

До начала работ должны быть проведены следующие мероприятия:

получена техническая (проектная и технологическая) документация на производство работ;

приобретены все необходимые материалы, оснастка и механизмы для производства работ;

сформирована, обучена и проинструктирована бригада изолировщиков;

проведен осмотр готовности трубопроводов к выполнению работ.

Все технические мероприятия по подготовке и проведению изоляционных работ должны осуществляться с соблюдением действующих правил технической эксплуатации, охраны труда и пожарной безопасности, а также требований, изложенных в этой главе.

Схема технологического процесса окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов в трассовых условиях, представлена на рис. 3.26.

Подготовительные мероприятия включают определение параметров трубопровода (диаметра, длины), состояние его внутренней поверхности, демонтаж запорной арматуры и вырезки катушек.

Параметры трубопровода определяются с целью выбора размеров торов-разделителей и торов-уплотнителей, расчета необходимого количества защитного состава и подбора компрессора, обеспечивающего перемещение торов-разделителей и защитного состава в трубопроводе с заданной скоростью.

Подготовка внутренней поверхности трубопроводов перед нанесением защитного состава играет исключительно важную роль



Рис. 3.26. Схема технологического процесса нанесения окрасочной изоляции на внутренней поверхности трубопровода в трассовых условиях

для получения анткоррозионного покрытия высокого качества и обеспечения его повышенного срока службы.

Как уже отмечалось в главе 2, при анткоррозионной защите особо важные требования предъявляются к адгезии наносимого покрытия. Отслаивание и растрескивание покрытия при ударах и толчках, которые могут возникнуть при строительстве и эксплуатации трубопроводов, при перекачивании жидкостей под большим давлением и т. д., могут быть исключены только при очень хорошем сцеплении защитного покрытия с поверхностью. Срок службы защитного покрытия определяется качеством подготовки внутренней поверхности труб.

Подготовка внутренней поверхности трубопроводов заключается в ее полной очистке от грязи, ржавчины, окалины, жировых и других отложений, а также в нейтрализации и удалении кислот, щелочей и других химических продуктов, препятствующих хорошему сцеплению покрытия с металлом.

При сухой очистке трубопровода могут применяться зачистные устройства конструкции СибНИИГиМ, основанные на механической очистке, путем протаскивания щетки с помощью тора-тягача или тора-толкача (рис. 3.27–3.28).

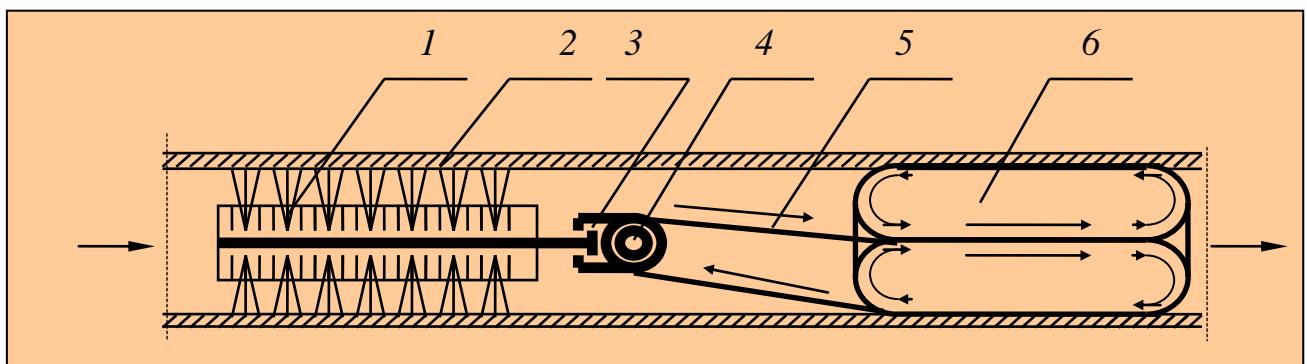


Рис. 3.27. Схема очистки трубопроводов с помощью тора-тягача :

1 – зачистная щетка; 2 – труба; 3 – сцепное устройство; 4 – блок; 5 – трос в виде бесконечной петли; 6 – тор-разделитель

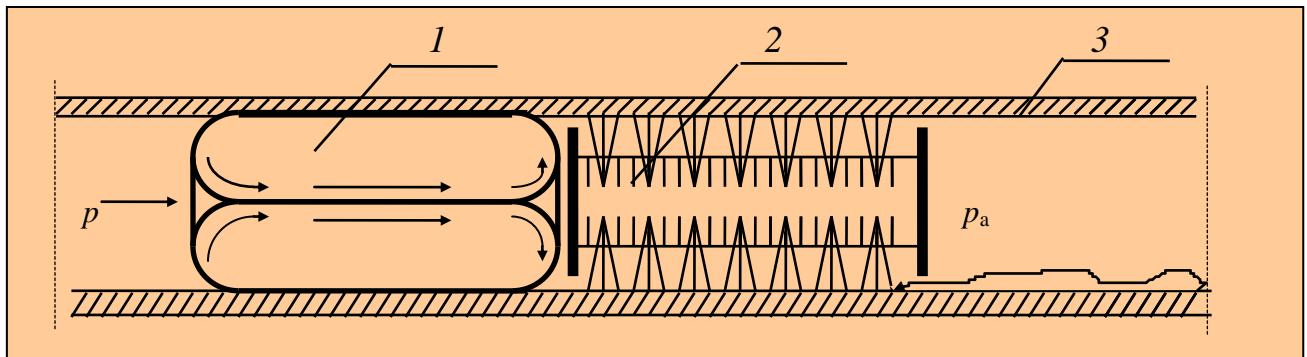


Рис. 3.28. Схема очистки трубопровода с помощью тора-толкача :
1 – тор-разделитель; 2 – зачистная щетка; 3 – трубопровод

На рис. 3.29 представлена диаграмма по определению тяговых усилий тора при перемещении щеток в трубопроводах различных диаметров.

Фрагменты выполнения технологических операций по окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов в полевых условиях представлены на рис. 3.30–3.35.

Перед установкой торов-разделителей в трубопровод их необходимо сначала накачать до 0,03–0,05 МПа и прокатать через шест $\phi = 5\text{--}10$ см не менее двух раз для того, чтобы расправить складки тканевой покрышки. После этого сбросить давление воздуха до 0,01 МПа, в полуспущенном состоянии тор-разделитель поместить в начало трубопровода и накачать до 0,07 МПа. Затем с помощью шеста перекатить его вдоль трубопровода в исходное состояние, соответствующее установке второго тора-разделителя и заглушки.

Установку второго тора-разделителя проводят в той же последовательности, только перед повышением в нем давления воздуха через середину тора-разделителя пропускают металлическую трубку диаметром $1\frac{1}{2}''$ для закачки в межторовое пространство защитного состава, объем которого определяется диаметром трубы, длиной участка и толщиной покрытия.

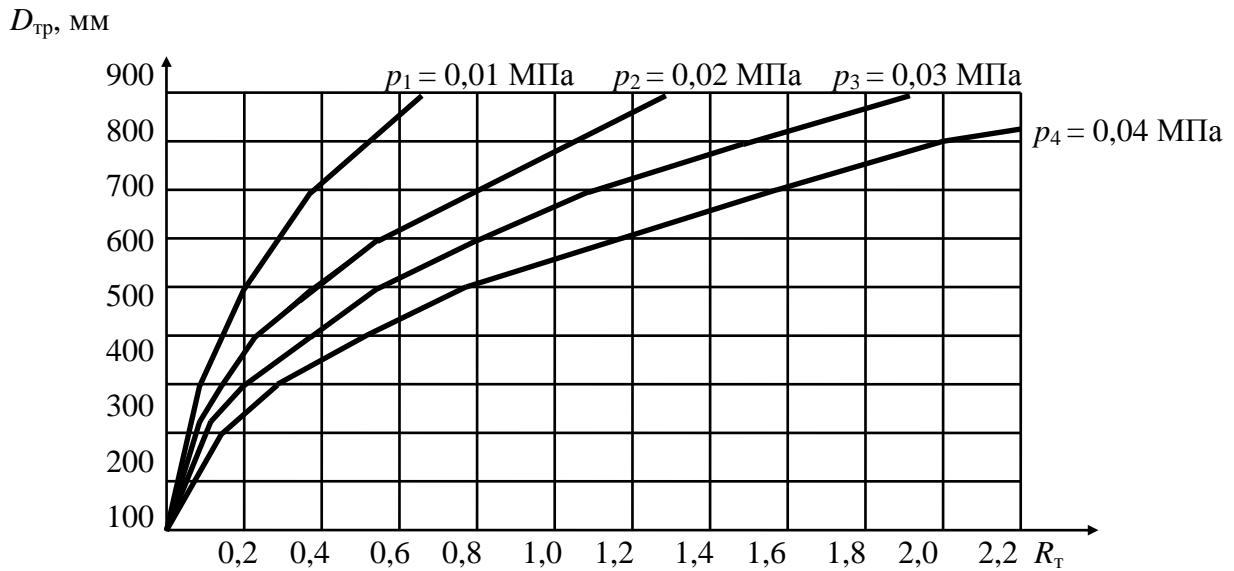


Рис. 3.29. Тяговое усилие тора-разделителя для различных диаметров труб

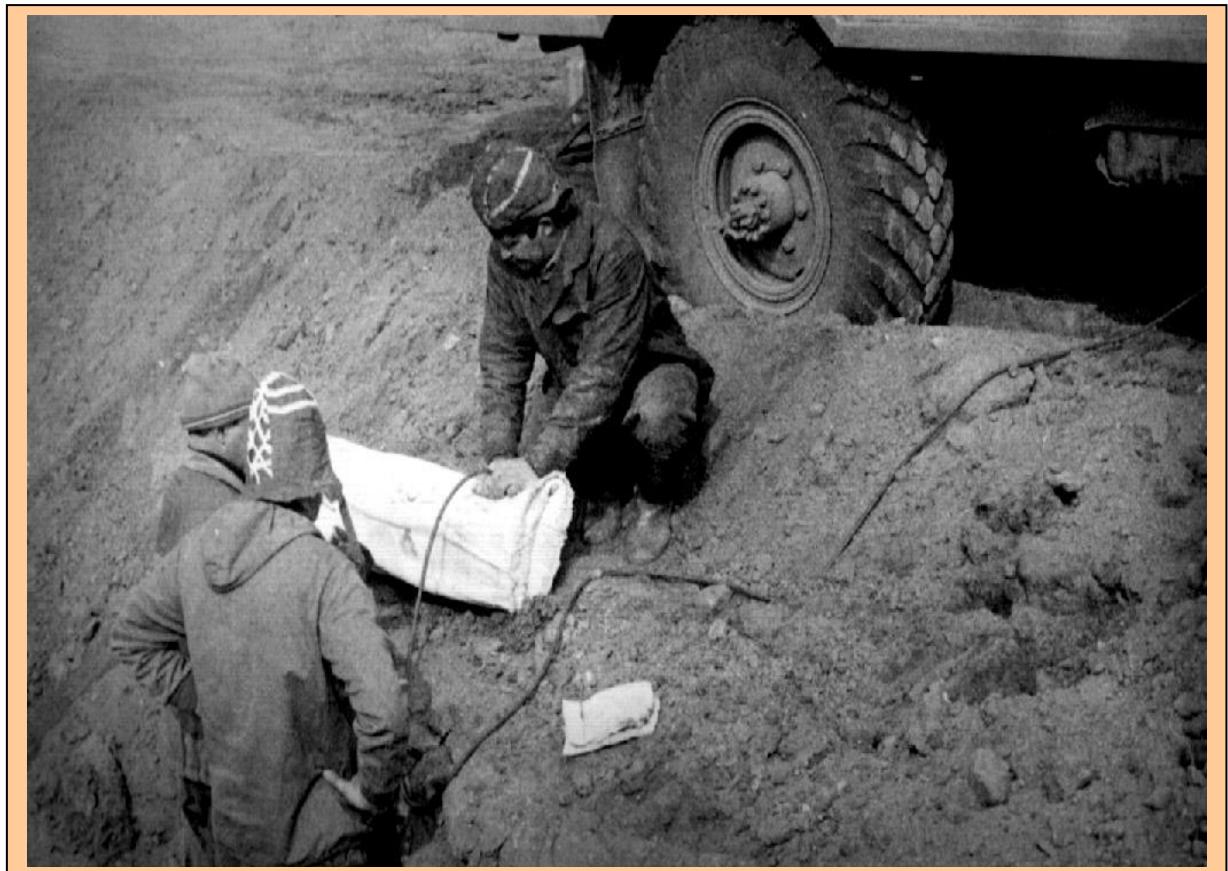


Рис. 3.30. Подготовка торов-разделителей

Давление во втором торе должно быть ниже, чем в первом, на 0,02 МПа, чтобы не было раздвижки торов при их движении.



Рис. 3.31. Заливка защитного состава между торами-разделителями (вариант 2)



Рис. 3.32. Установка торов-разделителей в исходное положение



Рис. 3.33. Установка заглушки с тором-уплотнителем



Рис. 3.34. Подача воздуха в трубопровод для перемещения торов и состава



Рис. 3.35. Фрагмент изолируемого участка трубопровода D_u 300мм, длиной 700 метров на Шебаевской оросительной системе

По данной технологии нанесения окрасочной изоляции на внутреннюю поверхность трубопроводов с применением торов-разделителей могут использоваться любые полимерные композиции, отвечающие техническим требованиям для конкретного изолируемого трубопровода, обладающие жизнеспособностью не менее 1 ч и вязкостью состава не менее 150 с по вискозиметру В3-4.

Вскрытие отдельных опытных участков с окрасочным полимерным покрытием трубопроводов показало, что трубы окрашены по всему периметру трубы. При этом толщина пленочного покрытия на верхней части свода трубы и боковых стенках составила от 0,1–0,5 мм, а в нижней части, за счет оплывания состава со стенок трубы – 3–5 мм, что, в свою очередь, дает определенный положительный эффект в виде усиления защиты наиболее подверженной износу части трубы.

3.8. Выбор и исследование защитных окрасочных составов

В зависимости от типа и назначения изолируемого трубопровода, а также условий его эксплуатации наносимые покрытия должны отвечать ряду требований, которые условно можно разделить на общие и специальные. К общим требованиям относятся такие, которым должны удовлетворять в той или иной мере все защитные покрытия, а к специальным – в зависимости от условий, в которых работают трубопроводы.

Изолирующие покрытия для защиты внутренней и внешней поверхности стальных трубопроводов от коррозии должны:

- быть сплошными;
- обладать высокими диэлектрическими свойствами (при высоком сопротивлении изоляции облегчается контроль сплошности покрытия, уменьшается величина блуждающего тока, который может проникнуть в металл, уменьшается требуемая величина защитного тока при электрохимической защите, увеличивается протяженность защищаемого участка трубопровода и, как следствие, сокращаются расходы на защиту);
- иметь хорошую адгезию к металлу, исключающую возможность проникновения коррозионно-активной среды по границе металл-покрытие и препятствующую разрушению металла трубопровода и покрытия на нем;
- обладать низкой влагопроницаемостью и малой величиной водопоглощения (параметры, характеризующие изменение во времени сопротивление изоляции);
- противостоять проникновению хлоридов, сульфатов, нитритов и других ионов, которые ускоряют процесс коррозии металлов (характеризуется защитное действие покрытия при работе в коррозионно-активных средах);

- противостоять осмосу и электроосмосу (снижению влажности покрытия);
- обладать высокой химической стойкостью (это одно из обязательных качеств защитного покрытия: при недостаточной химической стойкости покрытие может быстро разрушиться за счет взаимодействия с окружающей средой, агрессивной не только по отношению к металлу трубопровода, но и к материалу защитного покрытия);
- обладать высокой механической прочностью (прочность при изгибе, сжатии, растяжении, ударе и т. д.);
- быть эластичными (это весьма важный показатель защитного покрытия, отсутствие эластичности может привести к частичному или полному разрушению покрытия в процессе его эксплуатации, возникновению в нем трещин, а следовательно, к нарушению его сплошности и потере изолирующих свойств);
- обладать высокой биостойкостью (один из параметров, определяющих долговечность защитного покрытия при действии на него различного вида бактерий, которые содержатся в окружающей среде);
- не менять в процессе эксплуатации своих основных свойств (в значительной степени определяет эксплуатационную надежность защитного покрытия в процессе старения);
- обладать требуемой долговечностью (при соблюдении перечисленных требований следует ожидать эффективного действия защитного покрытия в течение расчетного срока службы; прогнозирование срока службы покрытия является весьма сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать максимальное число факторов, действующих на покрытие в процессе эксплуатации конкретного трубопровода).

Приведенные требования являются основными, но не исчерпывающими, которым должно удовлетворять защитное покрытие.

Очевидно, что в дальнейшем эти требования будут дополняться и уточняться, исходя из особенностей эксплуатации трубопроводов и новых защитных материалов.

Одним из главных свойств надежности любых систем, конструкций и сооружений, в том числе трубопроводов, является ремонтопригодность (возможность в процессе эксплуатации с наименьшей трудоемкостью выполнять диагностические и ремонтно-восстановительные работы, в частности, восстановление защитного покрытия на внутренней поверхности трубопроводов).

3.8.1. Выбор полимерных материалов

Заданные покрытия образуются в результате нанесения на поверхность и закрепления на ней всевозможных полимерных составов, как правило, «мокрым» способом с последующим отверждением при нормальных или повышенных температурах. В состав материалов, кроме связующих синтетических смол и отвердителей, могут входить разбавители, растворители, пластификаторы, модификаторы, стабилизаторы, наполнители и др.

Отечественной промышленностью освоен выпуск ряда новых синтетических полимерных материалов на основе высокомолекулярных соединений: эпоксидных, перхлорвиниловых, фенолоформальдегидных, полиуретановых, кремнеорганических и других. Покрытия из этих материалов обладают повышенной стойкостью и долговечностью, а также высокими физико-механическими показателями в условиях непосредственного контакта с агрессивной средой.

Нанесение защитных покрытий на внутреннюю поверхность трубопроводов не только защищает их от коррозии, но и улучшает пропускную способность трубопроводов на 5–10 % за счет уменьшения шероховатости поверхности и более низких коэффициентов

трения большинства полимерных покрытий, предотвращает отложение на ней осадков из транспортируемых сред, а также засорение сред продуктами коррозии [24].

В зависимости от требований, предъявляемых к защитным покрытиям, применяют коррозионно-стойкие, маслобензостойкие, термостойкие, водоустойчивые, щелоче- и кислотостойкие материалы.

Условия эксплуатации трубопроводов различны, поэтому необходимо правильно выбирать материал покрытия с учетом его стойкости и продолжительности срока службы.

Надежность работы трубопроводов с нанесенным защитным покрытием в процессе эксплуатации в значительной мере будет определяться показателями долговечности полимерного защитного покрытия [45–47], которая оценивается условием

$$\sigma_a > \sigma_k < \sigma_p, \quad (3.34)$$

где σ_a – величина адгезии покрытия с металлом, МПа; σ_k – напряжения на контакте полимер-металл, МПа; σ_p – прочность полимера при растяжении, МПа.

Это условие справедливо для проводимых исследований при толщине покрытий до 0,05 мм. Согласно эмпирической зависимости А.Т. Санжаровского [45] напряжения на контакте адгезив-субстрат определяются уравнением

$$\sigma_k = \sigma_n \cdot k / \delta_{\text{пок}}, \quad (3.35)$$

где σ_k – напряжения на контакте адгезив-субстрат, МПа; σ_n – внутренние напряжения в пленке, МПа; k – коэффициент, равный 0,05–0,06; $\delta_{\text{пок}}$ – толщина покрытия, мм.

Так как для условий защитного полимерного покрытия $k = \delta_{\text{пок}}$, то, согласно зависимости (3.35), напряжения на контакте будут равны внутреннему напряжению в покрытии $\sigma_k = \sigma_n$.

Зависимость (3.34) показывает, что покрытие обеспечит защиту металла при условии, если напряжения на контакте полимер-металл будут меньше, чем величина адгезии покрытия к подложке, и меньше прочности полимера при растяжении. В противном случае произойдет отслоение покрытия от металла или растрескивание полимера. В результате покрытие утратит свои защитные функции.

Основными составляющими возникновения внутренних напряжений в полимерном покрытии являются усадочные и температурные напряжения. Напряжения на контакте полимер-металл возникают в процессе отверждения полимерного состава за счет испарения растворителя и химических превращений. Другим фактором, влияющим на величину напряжений σ_k , является различие значений коэффициента линейного расширения покрытия и подложки, причем коэффициент термического линейного расширения полимера на порядок выше, чем металла. Важную роль в снятии напряжений на контакте полимер-металл оказывают релаксационные процессы, зависящие от скорости нарастания внутренних напряжений и пластических свойств материалов [45–46].

Внутренние напряжения в покрытии могут быть снижены двумя способами: пластификацией состава или введением в них большого количества минерального наполнителя. Во втором случае уменьшают долю полимера в покрытии и, соответственно, усадочные напряжения, а также снижаются коэффициент линейного термического расширения и, казалось бы, вместе с ним и температурные напряжения. Однако введение даже значительного количества наполнителя не позволяет достичь величины этого коэффициента, близкой к металлу [152].

В работах А.Т. Санжаровского, В.Г. Микульского и других авторов [45–49] указывается, что для эпоксидных покрытий холодного отверждения в процессе полимеризации композиций определенной толщины внутренние напряжения релаксируются, а остаточные

напряжения стремятся к нулю. В связи с этим основное внимание при исследовании внутренних напряжений необходимо уделять характеру изменения физико-механических свойств полимерных покрытий в процессе их старения при эксплуатации.

Ц.Е. Мирцхулава отмечает, что при конструировании объектов важно изучить физику отказов [38]. Знание причин и физики отказов позволит: выбрать тот материал, который наиболее рационален для данной конструкции при заданных условиях среды и нагрузках; заложить необходимую надежность элементов; предусмотреть необходимые конструктивные меры для уменьшения превышения нагрузок над допускаемыми с учетом влияния среды; предусмотреть необходимые защитные меры от влияния внешних факторов. При проектировании, прежде всего, необходимо разработать научно обоснованную схему и методику расчета с возможно полным учетом факторов, обуславливающих это явление.

Основным направлением технического прогресса является обеспечение эксплуатационной надежности как самого сооружения, так и отдельных его элементов. Вопросами надежности различных сооружений и элементов гидромелиоративных систем занимались Г.П. Ачкасов, В.А. Волосухин, А.Р. Гвенетадзе, А.Н. Дымант, И.М. Елшин, С.Ш. Зюбенко, В.В. Иванов, Ю.М. Косиченко, О.А. Лукинский, Ц.Е. Мирцхулава, М.Ф. Натальчук, В.Б. Резник, И.В. Стрижевский, В.Б. Тихомиров, Б.Ф. Хасин и другие.

С течением времени сооружения и их элементы под воздействием различных внутренних и внешних факторов стареют, изнашиваются. Основными факторами старения, определяющими долговечность полимерных покрытий, считаются солнечная радиация, перепад температур, окисляющее воздействие кислорода, механические напряжения и другие.

Изучению вопросов антикоррозионной защиты сооружений и конструкций полимерными материалами посвящены работы многих авторов.

В настоящее время существует ряд методов и теорий для прогнозирования долговечности материалов: например, принцип температурно-временной суперпозиции и термофлуктуационная теория разрушения твердых тел. Наиболее развитой теоретически и проверенной экспериментально является термофлуктуационная теория разрушения, представленная экспоненциальной зависимостью, известной как формула С.Н. Журкова [46]:

$$\tau = k_{\text{п.а}} \exp\left(\frac{W_{\text{a.p}} - k_c \sigma}{k_c \delta_{\text{пок}}}\right), \quad (3.36)$$

где τ – долговечность; $W_{\text{a.p}}$ – энергия активации процесса разрушения (при $\sigma = 0$); k_c – структурный коэффициент, учитывающий концентрацию напряжения; $k_{\text{п.а}}$ – коэффициент, близкий по значению к периоду тепловых колебаний атомов (10^{-11} – 10^{-14}).

Физическая природа старения защитных полимерных покрытий заключается в необратимых медленных изменениях, определяемых физико-химическими процессами, которые протекают в материале при воздействии климатических, эксплуатационных и других факторов. Для повышения долговечности следует выбирать те материалы, которые обладают высокой энергией активации. Установка преград причинам, вызывающим старение, состоит в том, что защищаемый элемент окружают материалом, который обладает малой константой скорости или высокой энергией активации (окраска, различные покрытия, герметизация).

В рамках кинетической концепции устанавливается связь между механической прочностью σ_p , температурой испытания и скоростью приложения разрушающего напряжения v_0 :

$$\sigma_p = c_1 v_0 \exp \frac{W(\sigma_p)}{RT}, \quad (3.37)$$

где c_1, c_2 – константы; R – испытательная нагрузка, Н; T – температура испытаний, С⁰.

Функциональная зависимость $W(\sigma_p)$ представлена В.Р. Регелем [51] в виде

$$W(\sigma_p) = W_{a,p,pa} - \alpha \cdot k_{\text{пер}} \cdot \sigma_p, \quad (3.38)$$

где $W_{a,\text{разр}}$ – энергия активации разрыва; α – элементарный объем разрушения; $k_{\text{пер}}$ – коэффициент перенапряжения.

Зависимость С.Н. Журкова (3.36) устанавливает количественную связь между длительной прочностью-долговечностью тела τ , приложенным напряжением и температурой испытания. Ц.Е. Мирцхулава отмечает [46], что для регулирования долговечности объекта существуют три способа:

- увеличение прочности (сопротивляемости к нагрузкам) объекта;
- уменьшение приложенной к объекту нагрузки;
- уменьшение скорости старения объекта.

Изменением этих трех основных параметров можно регулировать долговечность сооружения.

Основное уравнение старения, называемое обобщенным уравнением Аррениуса, имеет следующий вид:

$$\ln \sigma_{\text{мг}} = \ln \sigma_0 - k_{\text{к}} \delta_{\text{пок}} e^{\frac{W_a}{W_p}}, \quad (3.39)$$

где $\sigma_{\text{мг}}$ – мгновенная прочность; σ_0 – начальная прочность; W_a – энергия активации, Дж; W_p – энергия реакции, Дж; $k_{\text{к}}$ – включает в себя константы c_m и c_a , является функцией концентрации веществ, а также их природы; c_m – константа, зависящая от материала; c_d – константа, характеризующая размер дефекта.

Из этого уравнения следует:

- а) при постоянстве внешней среды прочность объекта уменьшается со временем по экспоненциальному закону;

б) срок службы объекта до достижения заданной прочности обратно пропорционален концентрации материала среды;

в) логарифм долговечности объекта, отвечающий определенному значению прочности, обратно пропорционален энергии среды.

Проведенные исследования показали, что уравнение (3.39) справедливо для многих типов материалов при наличии двух независимых процессов начального и долговечного старения.

Для многих материалов долговечность уменьшается при всех значениях нагрузки. В. Вейбул экспериментально установил, а Б.В. Гнеденко теоретически вывел уравнение, описывающее долговечность в зависимости от прочности:

$$N = c_{\text{пр.1}} (R - \sigma_{\text{пр.1}})^{c_{\text{пр.2}}}, \quad (3.40)$$

где N – долговечность в циклах (срок службы, ч); $c_{\text{пр.1}}$ и $c_{\text{пр.2}}$ – приведенные константы; R – величина приложенной испытательной нагрузки, Н; $\sigma_{\text{пр}}$ – приведенная полезная прочность; c – приведенная константа.

Уравнение дает более точные результаты, если $\sigma_{\text{прив}}$ выбрано опытным путем [46]:

$$N = k \left(\frac{R_t}{R} \right)^{c_{\text{пр.2}}}, \quad (3.41)$$

где N – выносливость в циклах или часах (срок службы, ч); R_t – нагрузка (индекс "t" относится к стандартным образцам или рабочим условиям).

Из множества известных полимерных материалов в качестве исследуемых защитных покрытий были выбраны эпоксидные составы, модифицированные карбоксилатным каучуком СКН-10-1А и каменноугольной смолой (табл. 3.3), отличающиеся высокими физико-механическими свойствами и отвечающие техническим требованиям по вязкости и жизнеспособности составов.

Таблица 3.3

Исследуемые полимерные составы

Компоненты	Содержание компонентов в мас. частях			
	Грунтовка	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Эпоксидная смола ЭД-20	100	100	100	100
Растворитель Р-4, Р-646	50 - 100	30	30	30
Каучук СКН-10-1А	-	30	-	30
Каменноугольная смола	-	-	100	-
Сурник железный	-	25	-	-
Пудра алюминиевая	-	-	-	12
Отвердитель ПЭПА, УП	12	12	12	12

Связующим для приготовления защитных составов являются эпоксидные диановые смолы ЭД-16 и ЭД-20 ГОСТ 10587-84. В качестве пластификатора и модификатора эпоксидной смолы используется низкомолекулярный каучук СКН-10-1А (ТУ38-103-1670), жидкий тиокол НВА (ГОСТ 12812-80), полиэфир МГФ-9 и др. Для приготовления составов применяются растворители Р-4 (ГОСТ 7827-74) или Р-646 (ГОСТ 18188-72), допускается применение в качестве растворителя ацетона (ГОСТ 2768-84). Отвердение эпоксидных составов осуществляют полиэтиленполиаминами (ПЭПА) (ТУ-6-01-450-70) или отвердителем УП-0633 (ТУ-6-05-241-46-75). В качестве пигмента используются сурник железный (ГОСТ 8135-74) и алюминиевая пудра ПАК-3, ПАК-4 (ГОСТ 5494-95).

3.8.2. Исследования жизнеспособности эпоксидных композиций

Одним из основных технологических показателей при использовании эпоксидных композиций в качестве защитных или оклеечных составов является их жизнеспособность. Жизнеспособность

эпоксидных композиций определяется временем, в течение которого их вязкость при выбранной температуре возрастает до “предельно допустимой”. Превышение допустимой вязкости делает композицию технологически непригодной для использования в качестве окрасочного или пропиточного составов. Основными факторами, влияющими на вязкость эпоксидных композиций при постоянном соотношении компонентов (эпоксидная смола, растворитель, пластификатор, отвердитель, наполнитель и т. д.), являются время и температура.

Предел определения вязкости по вискозиметру ВЗ-4 составляется 150 с. Исследуемые нами составы не входят в этот предел, поэтому определение изменения вязкости во времени для исследуемых составов выполнялось на шариковых вискозиметрах согласно ГОСТ 8420–74, состоящих из стеклянных трубок длиной 0,35 м, диаметром 20 мм и стальных шариков диаметром 7,938 мм (ГОСТ 3722–81) массой 2,033 гр.

На расстоянии 0,05 м от концов трубы на них наносили метки, расстояние между которыми составляло 0,25 м. Нижнее отверстие трубок закрывалось пробкой. Трубы с исследуемым составом помещали в терmostатическую камеру при температурах 0; 10; 20; 30 °С. При определении вязкости непрозрачных составов сначала в трубы наливали глицерин до нижней метки, затем заливали исследуемый состав до верхней метки. Время прохождения шарика между метками определяло условную вязкость в секундах. Результаты испытаний исследуемых составов представлены на графиках (рис. 3.36–3.40).

Для определения времени отверждения до “отлипа” исследуемые составы наносились на металлические пластины и хранились при соответствующих температурах. Результаты испытаний представлены в табл. 3.4 и рис. 3.41.

Таблица 3.4

Жизнеспособность исследуемых составов

№ состава из табл. 3.3	Температура состава при испытании, °C	Жизнеспособность состава, ч	Время отверждения до “отлипа”, ч
Грунтовка	0	Более 4	22
Грунтовка	10	Более 4	22
Грунтовка	20	4	22
Грунтовка	30	2,3	5
1 и 3	0	Более 4	50
1 и 3	10	4	22
1 и 3	20	2	22
1 и 3	30	1,5	5
2	0	Более 4	190
2	10	Более 4	48
2	20	Более 4	26
2	30	2,5	6

Примем из технологических соображений “предельно допустимую” вязкость для защитных и оклеочных полимерных составов равной 100 с по шариковому вискозиметру (ГОСТ 8420–74).

Из результатов испытаний следует, что эпоксидные композиции с каменноугольной смолой (состав 2) имеют жизнеспособность при температуре 10–20 °C – до 6 часов, при температуре 30 °C – до 2,5 ч. Композиции с карбоксилатным каучуком СКН-10-1А (составы 1 и 3) имеют жизнеспособность при температуре 10 °C – 1 ч, при температуре 20 °C – 2 ч и при температуре 30 °C – 1,5 ч.

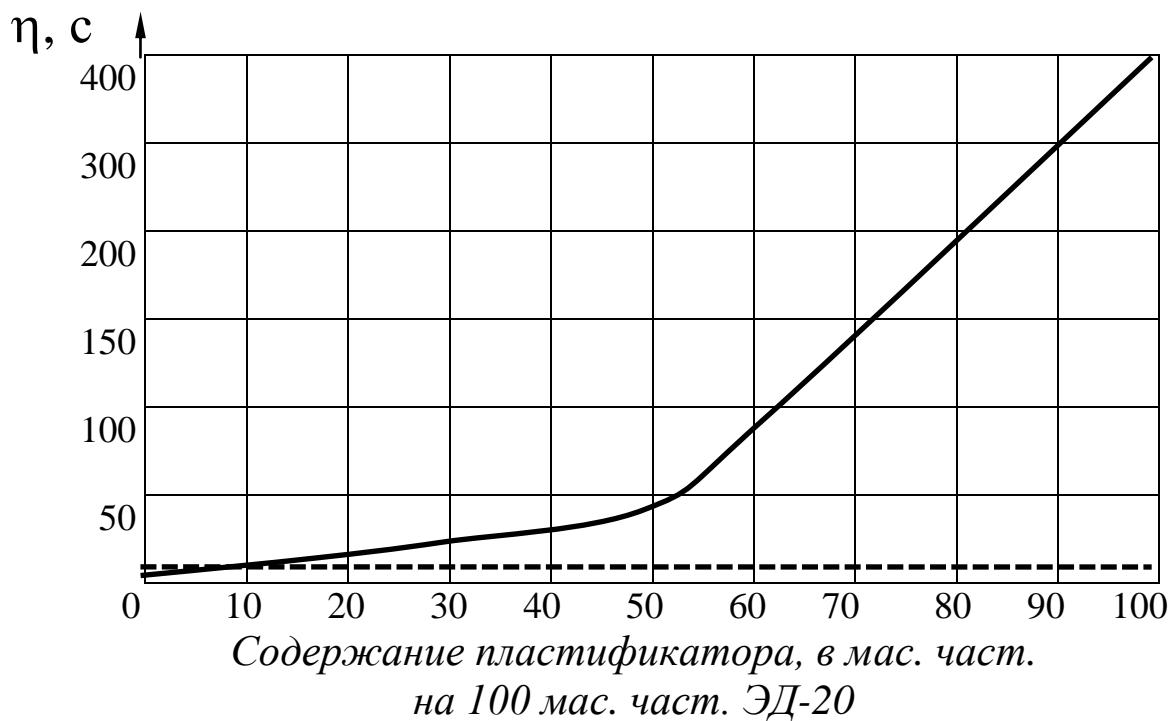


Рис. 3.36. Изменение вязкости эпоксидных составов от содержания пластификатора:
 — SKH-10-1A; - - - Каменноугольная смола

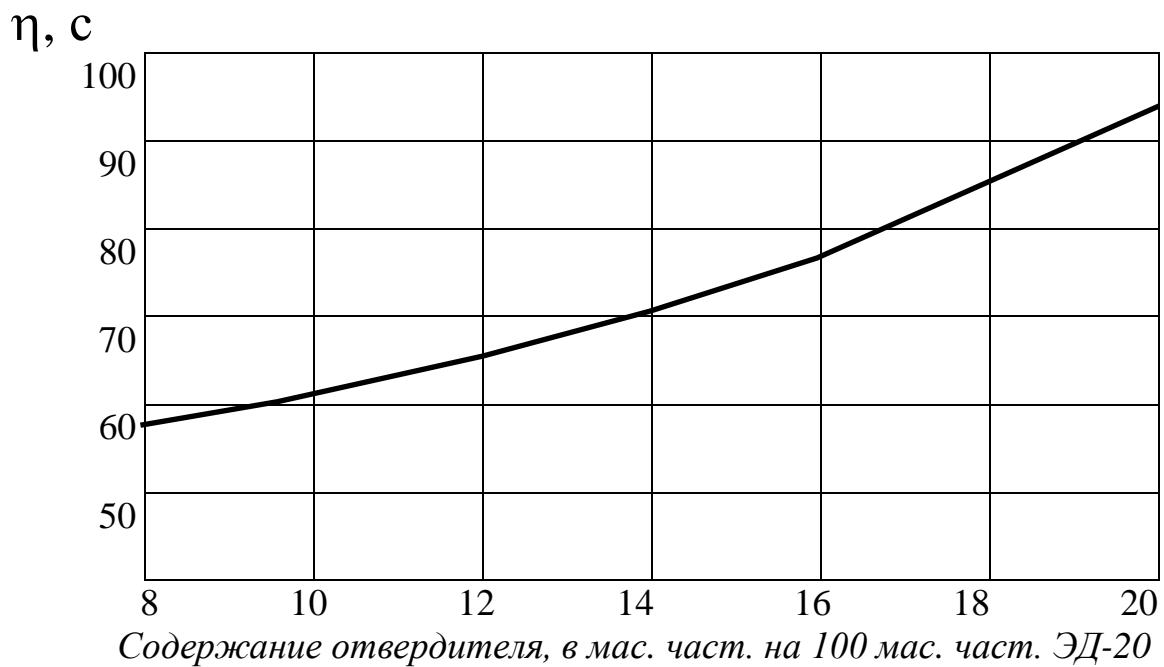


Рис. 3.37. Изменение вязкости эпоксидных составов от содержания отвердителя

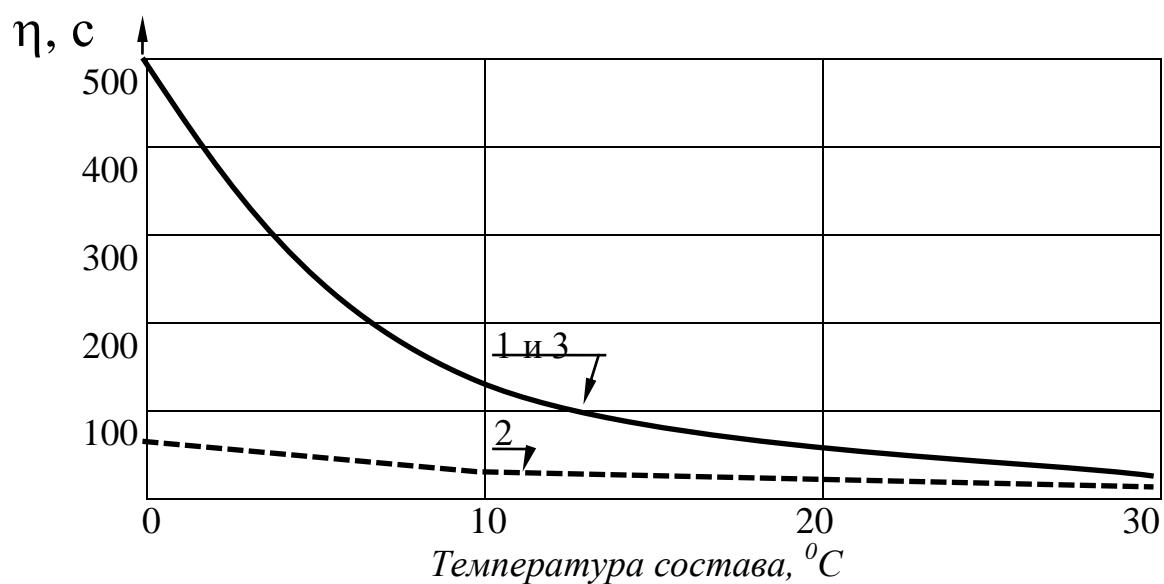


Рис. 3.38. Влияние температуры на начальную вязкость эпоксидных составов:
 —— — составы 1 и 3; - - - - - — состав 2

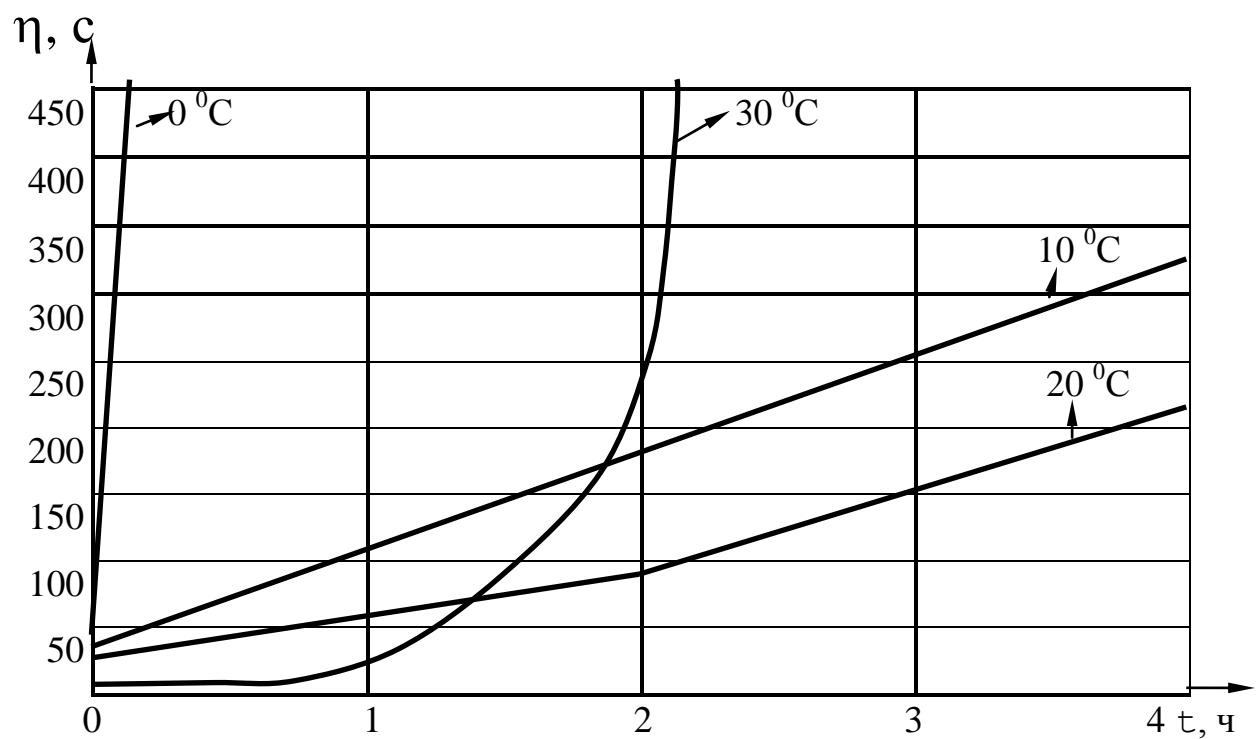


Рис. 3.39. Изменение вязкости составов 1 и 3

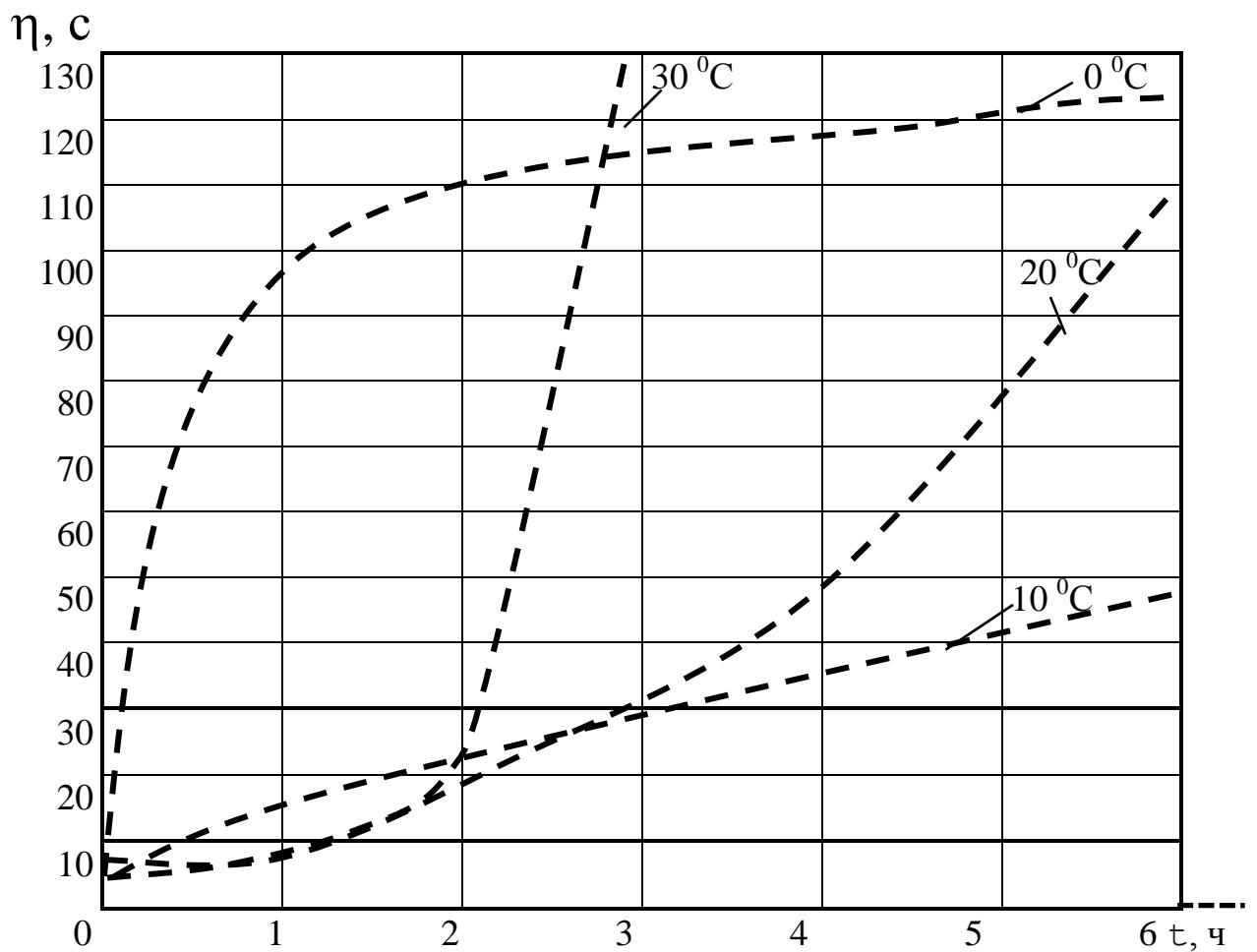


Рис. 3.40. Изменение вязкости состава 2 от времени и температуры

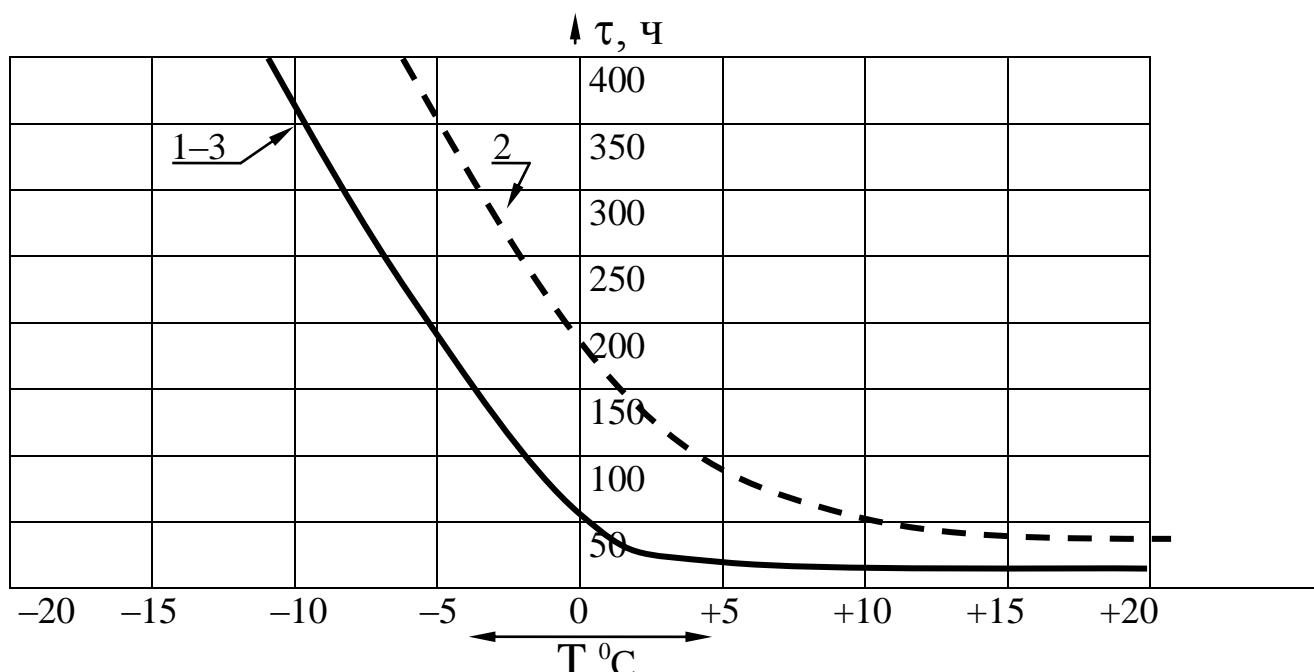


Рис. 3.41. Зависимость времени отверждения исследуемых составов от их температуры

Из данных испытаний видно, что эпоксидные составы с каменноугольной смолой и грунтовка могут наноситься при пониженных температурах, а составы с каучуком СКН-10-1А - применяться при температуре не ниже +10 °С и использоваться в течение 1–2 ч.

Время отверждения эпоксидных композиций резко возрастает при отрицательных температурах, причем это справедливо только для пленочных покрытий толщиной до 1 мм, так как те же полимерные составы с толщиной покрытия более 1 мм при отрицательных температурах и использовании отвердителя ПЭПА не отверждаются даже в течение 30 суток.

В зарубежной практике поставка эпоксидных композиций с отвердителем осуществляется на место их применения в охлажденном состоянии.

3.8.3. Разработка методики испытаний по ускоренному старению защитных полимерных покрытий

Выбор и назначение полимерного защитного покрытия для гидроизоляции и защиты от коррозии в каждом конкретном случае должны быть обоснованы, так как покрытия одного состава в различных условиях их эксплуатации ведут себя по-разному. В настоящее время имеется значительный опыт применения защитных полимерных покрытий, однако отсутствует единая методика оценки старения материалов, которая учитывала бы максимальное число факторов, действующих на покрытие в процессе эксплуатации [31].

Основой метода для назначения видов испытаний на старение для расчета их продолжительности и цикличности должна быть карта эксплуатации, она включает климатические и эксплуатацион-

ные факторы, определенные для конкретного сооружения, на котором предполагается устройство защитного покрытия.

Старение полимерных покрытий оценивается изменением их физико-механических свойств в процессе испытаний. При старении может происходить как ухудшение, так и улучшение физико-механических свойств полимеров. Поэтому необходимо научиться управлять этим процессом и, по возможности, исключать наиболее агрессивные факторы воздействия на полимерные покрытия.

Технология изоляции внутренней поверхности трубопроводов в трассовых условиях с применением торов-разделителей и оклеечных рукавов, в отличие от существующих технологий, исключает целый ряд наиболее негативных факторов:

- механические ударные нагрузки на защитные покрытия при транспортировке и укладке труб в проектное положение;
- воздействие климатических факторов при хранении изолированных труб под открытым небом (солнечная радиация и ультрафиолетовые излучения, нагрев труб на солнце до +60 °С летом и охлаждение до –40 °С зимой).

Это достигается за счет того, что защитные покрытия наносятся после укладки труб в проектное положение. В качестве примера в табл. 3.5 представлена карта эксплуатации оросительных трубопроводов, расположенных на юге Красноярского края и в Хакасии. Особенностью эксплуатации таких трубопроводов является то, что они работают не круглый год, а сезонно, только в поливной и влагозарядковый период, с апреля по сентябрь, а в остальное время года эти трубопроводы находятся без воды. Следовательно, воздействие воды на исследуемые покрытия влияет только в указанные сроки, воздействие же климатических факторов переменной величины будет круглосуточным.

В карту эксплуатации включены факторы старения и их числовые значения для трех исследуемых зон:

- открытые трубопроводы (уложенные над землей);
- закрытые трубопроводы (уложенные в зоне промерзания грунтов на глубине 1 м);
- закрытые трубопроводы (уложенные ниже зоны промерзания грунтов).

Таблица 3.5

Карта эксплуатации оросительных трубопроводов

Вид факторов старения	Наименование факторов старения	Ед. изм.	Числовые значения факторов старения для трех зон					
			Над землей		В зоне промерзания грунта		Ниже зоны промерзания грунта	
			за год	с октября по март	за год	с апреля по сентябрь	за год	с апреля по сентябрь
Климатические	Солнечная радиация	ккал/см ²	53	10,6	-	-	-	-
	Продолжительность солнечного сияния	ч	2031	605	-	-	-	-
	Продолжительность дождей	ч	286	35	-	-	-	-
	Переход через 0 °C	раз	161	60	2	1	-	-
	Средняя отрицательная температура	°C	-10,4	-10,4	-10,4	-10,4	-	-
	Средняя положительная температура	°C	+10,5	-	+	+	+4	+4
	Максимальная температура, повтор (+30 °C)	дней	12	-	-	-	-	-
	Минимальная температура, повтор (-40 °C)	дней	3	3	-	-	-	-
Эксплуатационные	Скорость воды	м/с						
	Температура воды, сп.	°C						
	Агрессивность воды	pH						
	Время воздействия водного потока	ч	4000	-	4000	4000	4000	4000

В период с октября по март трубопроводы находятся без воды, при этом на исследуемые покрытия воздействуют только темпера-

турные факторы, изменяющиеся во времени и имеющие различные значения для каждой исследуемой зоны.

На защитные покрытия надземных трубопроводов воздействуют климатические факторы (нагрев труб от солнечной радиации, охлаждение от осадков, многократный переход через 0 °C). На защитные покрытия трубопроводов, уложенных в зоне промерзания грунтов, воздействует температура окружающего грунта. На защитные покрытия трубопроводов, уложенных ниже зоны промерзания грунтов, воздействие климатических факторов отсутствует (постоянная температура грунта). В период с апреля по сентябрь, когда трубопроводы заполнены водой, защитные покрытия практически находятся в одинаковых условиях (влияние температуры воды и скорости водного потока).

В карту эксплуатации оросительных трубопроводов (табл. 3.5) включены данные расположенной в районе исследований Бейской метеорологической станции на основе среднестатистического года, полученного в результате многолетних метеорологических наблюдений и натурные данные исследований СибНИИГиМ.

Виды испытаний на старение с учетом их продолжительности и цикличности в лабораторных условиях назначаются с учетом карты эксплуатации, составленной для конкретного трубопровода, подлежащего защите исследуемым полимерным покрытием.

В табл. 3.6 представлены расчетные данные о видах и времени испытаний защитных покрытий на старение в лабораторных условиях для трех исследуемых зон, соответствующие одному году эксплуатации в натуре.

Для воспроизведения условий старения исследуемых защитных покрытий в лабораторных условиях использовались следующее оборудование и приборы:

- аппарат искусственной погоды АИП-1 с ксеноновой лампой ДКСТВ-6000, которая имеет спектр излучения, близкий к солнечному у поверхности земли и $N_i = 1300$ ккал/м²·ч (рис. 3.42);
- автоматизированная цикличная морозильная камера с оттаиванием в воде конструкции СибНИИГиМ (рис.3.43);
- климатическая камера “Feutron” Германия (рис. 3.44);
- установка для испытания образцов на воздействие водного потока, конструкции СибНИИГиМ (рис. 3.45).

Таблица 3.6

Время старения защитных покрытий в лабораторных условиях для трех зон, соответствующее одному году эксплуатации в натуре

Наимено- вание видов ис- пытаний	Расчет продолжительности испытаний по данным карты эксплуатации и технических характеристик лабораторного оборудования	Время старения для трех зон, сут.			
		над землей	в зоне промер- зания	ниже зоны про- мер- зания	
Облучение ксеноновой лампой ДКСТВ-6000 в аппарате АИП	$\tau_1 = \frac{Q}{N \cdot 24}$	где τ_1 - время облучения (сут); Q - солнечная радиация (ккал/см ²); N - интенсивность излучения ксеноновой лампы (ккал/см ² /ч)	3,4	-	-
Периодичность орошения в АИП-1 при суточном облучении	$\tau_2 = \frac{\tau_d}{\tau_c} \cdot \tau_1$	где τ_2 - время орошения при суточном облучении в АИП-1, сут.; τ_d - продолжительность дождя, ч; τ_c - суммарное время солнечного сияния, ч	0,2	-	-
Воздействие водного потока на покрытие в трубе	$\tau_4 = \frac{v_1}{v_2} \cdot \tau_{\%}$	где τ_4 - время испытания, сут. в установке; v_1 и v_2 - скорость водного потока в натуре и в лабораторной установке, м/с; $\tau_{\%}$ - время воздействия потока в натуре, сут.	30	30	30
Количество суток испытаний на старение в лабораторных условиях - 1 год	43,6	30,3	30		

Таблица 3.7

**Результаты испытаний полимерных защитных покрытий на старение
для трех исследуемых зон**

Зона укладки трубо-провод-да	Вид ис-пы-тия	Кол-во цик-лов	Физико-механические свойства полимерных покрытий											
			Состав 1				Состав 2				Состав 3			
			<i>E</i> МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа	<i>E</i> МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа	<i>E</i> МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа
Над зем-лей	Лаб.	1	197	22	0,04	6,0	295	10	0,06	4,3	193	23	0,04	5,8
	Лаб.	2	253	26	0,05	6,1	309	12	0,07	4,1	308	28	0,06	5,7
	Лаб.	3	261	27	0,05	5,9	329	9	0,07	3,8	397	31	0,08	6,1
	На-тур.	1	255	25	0,05	6,2	310	12	0,07	4,1	280	33	0,06	5,8
	На-тур.	2	263	36	0,05	6,1	325	11,5	0,07	3,8	274	39	0,05	5,9
	На-тур.	3	272	38	0,06	6,3	330	12,5	0,07	3,5	310	41	0,7	6,0
В зо-не про-мер-зания грун-та	Лаб.	1	184	17	0,04	5,7	320	10,2	0,07	3,1	249	25	0,05	5,9
Ниже зоны промерзания грунта	Лаб.	1	298	14	0,06	6,8	224	4,6	0,05	3,6	285	24	0,06	5,1
	Лаб.	2	310	16	0,06	6,9	246	8,7	0,06	3,4	264	27	0,05	6,5
	Лаб.	3	437	20	0,09	6,9	397	9,7	0,09	3,8	258	28	0,05	6,1
	На-тур.	1	315	24	0,06	6,4	232	10,3	0,05	3,9	273	25	0,05	6,4
	На-тур.	2	323	35	0,07	6,7	264	9,9	0,06	3,6	282	31	0,06	6,0
	На-тур.	3	370	33	0,7	6,3	387	11,2	0,08	3,5	291	34	0,06	6,1

Разработанный метод позволяет ускорить процесс старения защитных покрытий в лабораторных условиях в 10 раз.

Результаты испытаний на старение представлены в табл. 3.7.

3.8.4. Приборы и оборудование для исследования защитных покрытий

Аппарат искусственной погоды (АИП-1), выпускаемый отечественной промышленностью в качестве источника световой энергии, имеет обычные угольные и кварцевые лампы. Использование этих источников световой энергии при испытаниях строительных материалов на старение дает несопоставимые результаты с натурным старением в естественных условиях.

Для получения хорошей корреляции между испытаниями в АИП-1 и на открытом воздухе лампа должна иметь распределение энергии в спектре, близком к солнечному у поверхности земли. Этому условию более всего соответствует газоразрядная ксеноновая лампа ДКСТВ-6000.

Особенности спектра излучения ксеноновой лампы позволяют произвести прямой пересчет энергетической облученности образца исследуемого материала в АИП-1 на условия заданной климатической зоны и определить соответствие количества часов экспозиции в аппарате и продолжительности выдержки в натурных условиях (рис. 3.42).

При испытании в аппарате АИП-1 исследуемые образцы помещаются для экспозиции на поворотный круг, вращающийся со скоростью 1 об/мин. Ксеноновая лампа установлена горизонтально, параллельно плоскости экспозиционного круга на расстоянии от нее 1 м. Охлаждение ксеноновой лампы в процессе работы осуществляется проточной дистиллированной водой с помощью центробежного насоса, соединенного с установленным над аппаратом баком.

Интенсивность излучения ксеноновой лампы ДКСТВ-6000 при мощности 4,5 кВт в АИП-1 составляет $N_i = 13$ кал/см² ч.

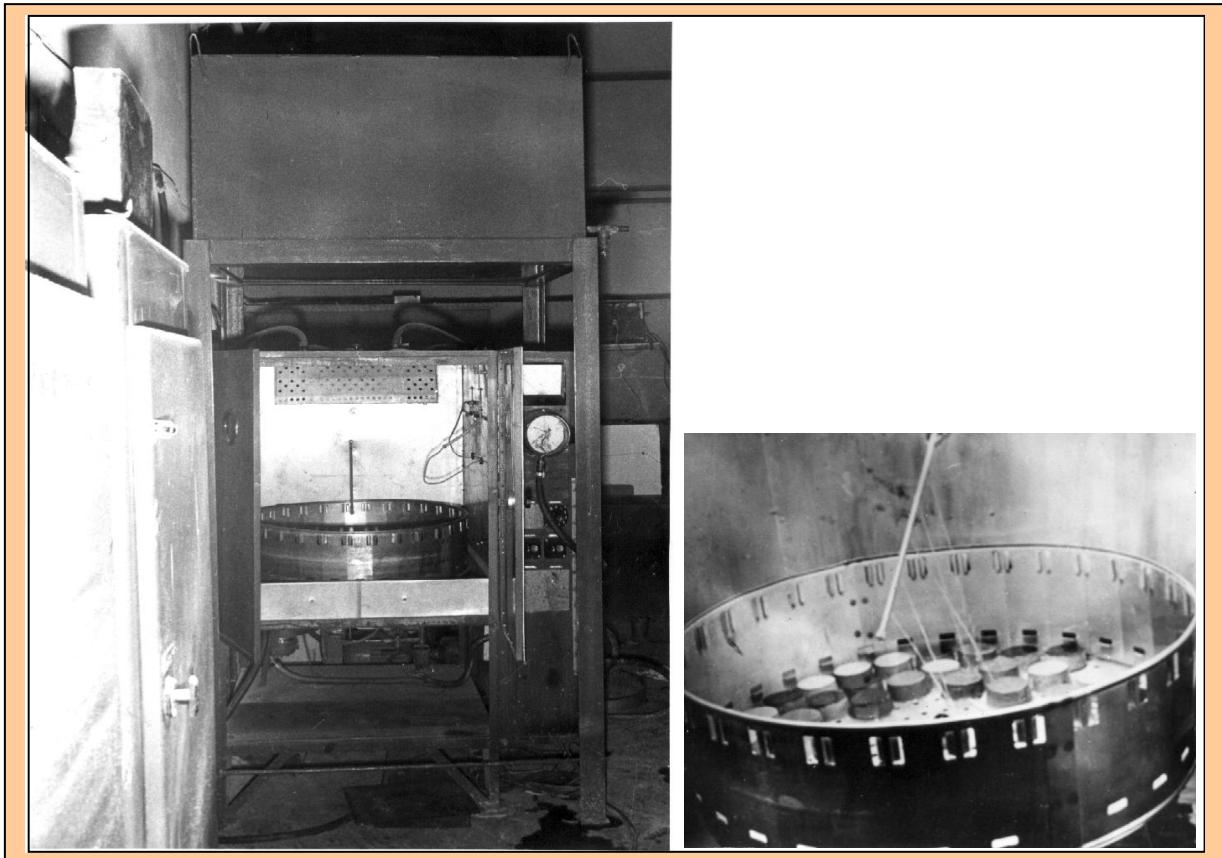


Рис. 3.42. Аппарат искусственной погоды (АИП-1) с ксеноновой лампой ДКСТВ-6000

Климатическая камера Feutron содержит функциональные группы, необходимые для обеспечения климатических параметров, их регулирования, измерения, а также создания знакопеременных температур.

Климатическая камера Feutron представлена на рис. 3.43. Изменение климатических параметров камеры осуществляется программным управлением.

Технические характеристики камеры Feutron типа 3001

Объем рабочей камеры	250 л
Диапазон температур	от -25 до $+90$ $^{\circ}\text{C}$
Постоянство температуры в камере	$\pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$
Создаваемая влажность	до 100 %

Облучение ультрафиолетовое	375 Вт
Облучение инфракрасное	250 Вт
Цикличность испытаний с переходом через 0 °C	до 6 циклов/сут.



Рис. 3.43. Климатическая камера Feutron

Автоматизированная цикличная камера предназначена для испытания образцов на старение от попеременного замораживания и оттаивания в воде. Эта цикличная установка (рис. 3.44) состоит из рабочей камеры 1, изготовленной из оцинкованной жести и теплоизолированной пенопластом 2 толщиной 100 мм; установленного в рабочей камере испарителя 5 от бытового холодильника "ЗИЛ", сливной трубы 9, обеспечивающей заданный уровень воды; подвоящих трубок 6, закрепленных в днище рабочей камеры.

Подача воды из бака 4, где установлен ТЭН 7, осуществляется с помощью центробежного водяного насоса 3. Цикличность испытаний обеспечивает блок управления 8, включающий реле времени, контактный термометр и электронную схему.

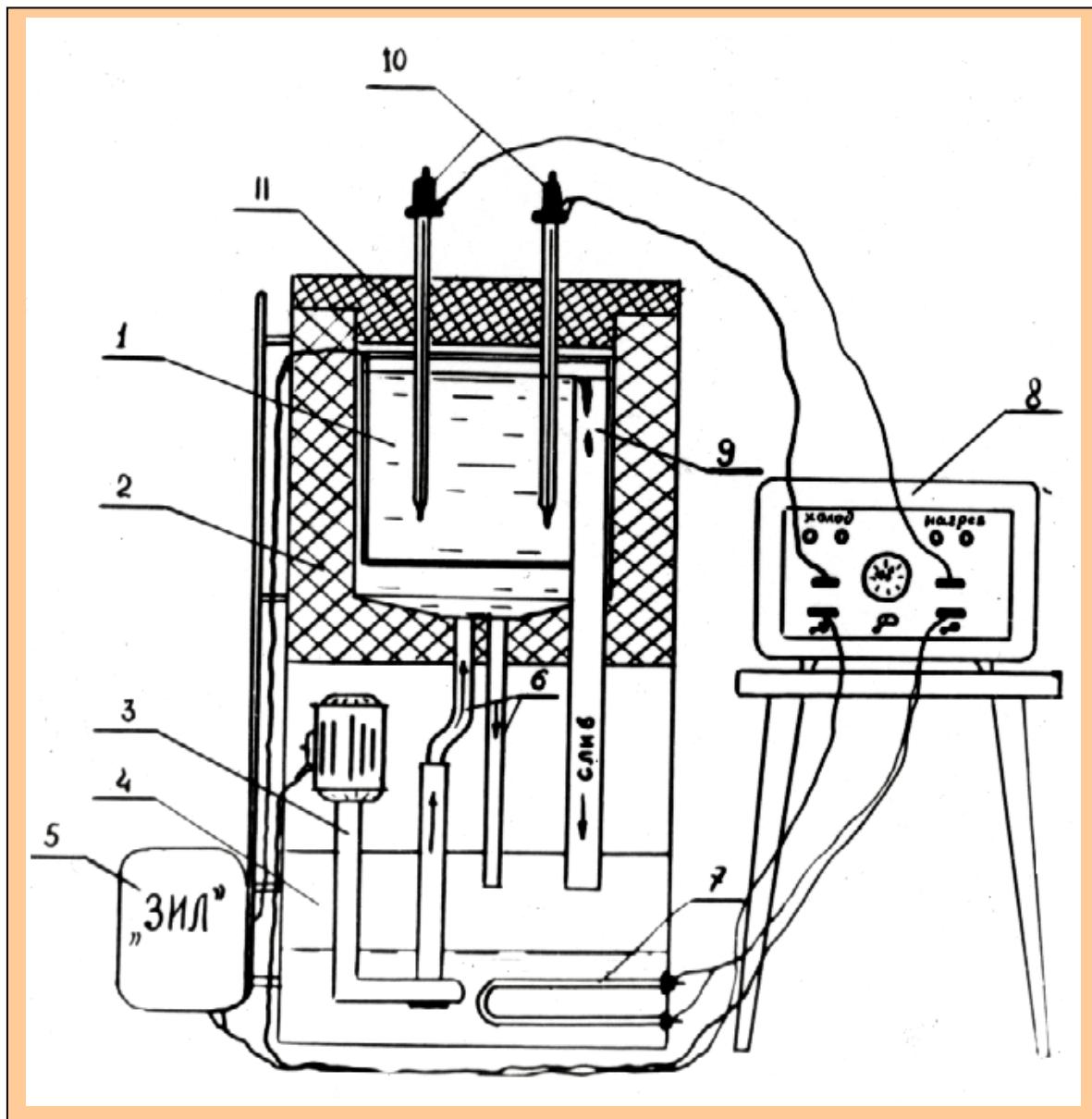


Рис. 3.44. Автоматизированная циклическая морозильная камера (СибНИИГиМ)

Испытания в автоматизированной циклической камере выполняются в определенной последовательности. Исследуемые образцы

помещаются в рабочую камеру 1 и закрываются теплоизоляционной крышкой 11, в которой установлены два контактных термометра, один на -20°C , другой на $+20^{\circ}\text{C}$. При включении блока управления сначала включается холодильный агрегат, который поддерживает в рабочей камере температуру -20°C . По истечении двух часов реле времени переключает блок управления на режим оттаивания, т. е. отключает холодильник и включает водяной насос 3, с помощью которого вода из бака 4 подается в рабочую камеру 1. Температура воды поддерживается в пределах $19\text{--}21^{\circ}\text{C}$ за счет нагревательного элемента и контактного термометра. Слив воды из рабочей камеры по завершении цикла обеспечивают трубы 6.

Техническая характеристика морозильной камеры

Объем рабочей камеры	40 л
Температура замораживания	от 0 до -20°C
Температура оттаивания	до $+80^{\circ}\text{C}$
Время охлаждения рабочей камеры до заданной температуры	0,25 ч
Время слива воды из рабочей камеры после оттаивания	0,08 ч
Габаритные размеры	600x600x1200 мм

Установка для испытания образцов на старение от воздействия водного потока

Установка включает растворомешалку СО-11, на внутренней поверхности стенок емкости которой располагают кассеты с испытуемыми образцами. Для создания постоянной скорости жидкой среды и исключения турбулентности на контакте с поверхностью исследуемых образцов вместо лопастной мешалки на валу отбора

мощности был установлен полый цилиндр, расположенный coaxially к стенкам емкости растворомешалки (рис. 3.45).

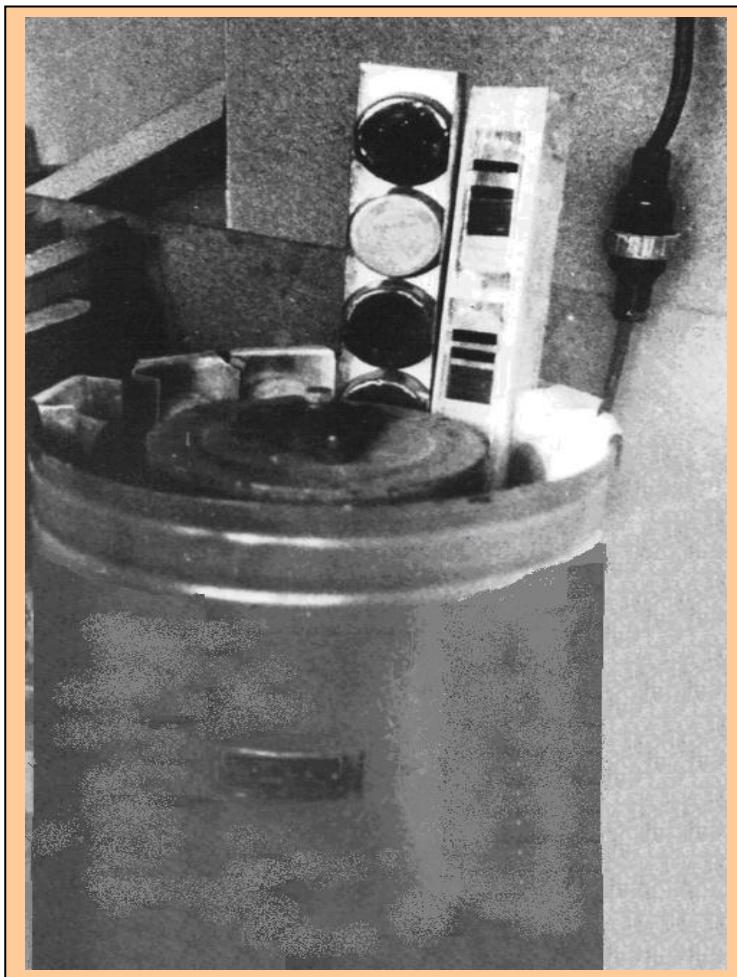


Рис. 3.45. Установка для испытания образцов на старение от воздействия водного потока конструкции (СибНИИГиМ)

Скорость потока жидкости у поверхности исследуемых образцов регулируется от 0 до 9 м/с за счет изменения скорости вращения полого цилиндра. Состав жидкости, заливаемой в емкость растворомешалки, должен соответствовать по агрессивности исследуемому объекту и содержать соответствующее количество взвесей, солей и т. п.

3.8.5. Приборы и оборудование для определения физико-механических свойств материалов

Способ определения величины адгезии заключается в том, что отрыв покрытия от подложки осуществляется за счет разности давления газа, создаваемого на контакте адгезив-субстрат (а. с. 903753). При этом в начальный момент над и под покрытием создается равное избыточное давление, превышающее когезионную

прочность бетона. В процессе испытания снижается давление газа над покрытием при постоянном начальном давлении газа под покрытием. Момент отрыва адгезива фиксируется показанием стрелки индикатора, а величина адгезии определяется разностью давления газа в момент отрыва над покрытием и под покрытием (рис. 3.46).

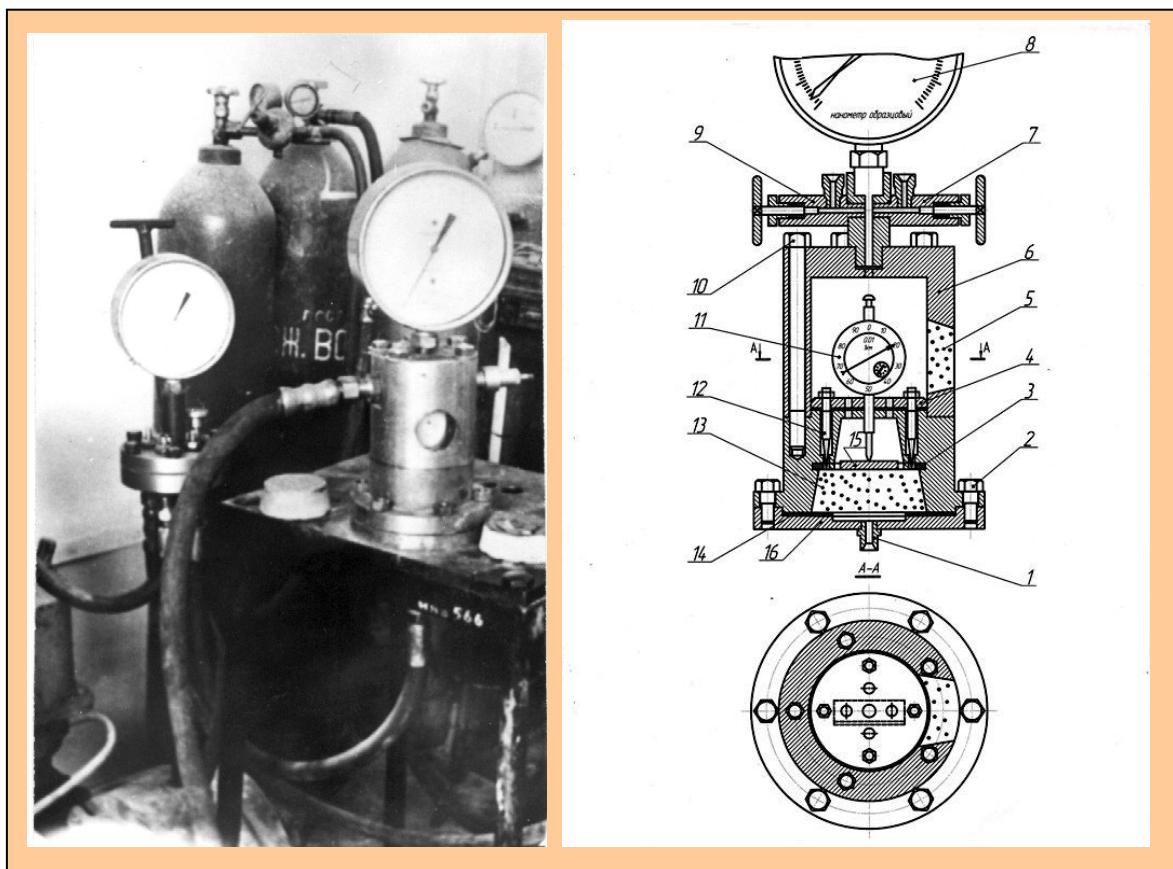


Рис. 3.46. Адгезиометр конструкции СибНИИГиМ :

1 – штуцер; 2 – болт; 3 – уплотнительное кольцо; 4 – подвижная каретка; 5 – смотровое окно; 6 – верхняя камера прибора; 7 и 9 – краны высокого давления; 8 – манометр; 10 – болт; 11 – индикатор часового типа; 12 – ножки каретки; 13 – гнездо прибора с образцом; 14 – уплотнительная прокладка; 15 – опорная пластина; 16 – фланец

Испытуемый образец из пористого материала в форме усеченного конуса, на верхнюю торцевую часть которого нанесено поли-

мерное покрытие, устанавливается в гнездо прибора 13. За счет уплотнительного кольца 3 выполняется герметизация между верхней камерой 6 и нижней 13.

Испытания выполняются таким образом: через штуцер 1 и кран 7 подается газ (воздух). После выравнивания давления в верхней и нижней камерах кран 7 закрывают, показания индикатора и манометра записывают в журнал. С помощью крана 9 с определенной скоростью из верхней камеры стравливаются воздух, при этом давление под покрытием в нижней камере на протяжении всего опыта остается постоянным, равным начальному. Момент отрыва фиксируется по движению стрелки индикатора 11.

Внешний вид образцов до и после испытаний представлен на рис. 3.47.

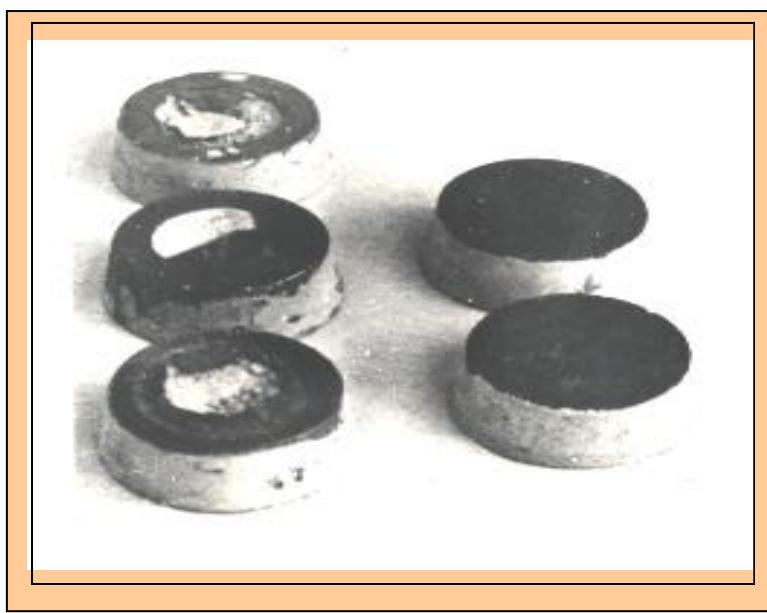


Рис. 3.47. Вид образцов до и после испытаний на адгезию

Разность давления воздуха во время отрыва над и под покрытием соответствует величине адгезии покрытия к подложке:

$$\sigma_a = p_1 - p_2, \quad (3.42)$$

где p_1 – давление газа под покрытием, МПа; p_2 – давление газа над покрытием, МПа.

По окончании опыта образец вынимают, визуально определяют площадь и характер разрыва по контакту или по подложке, результаты заносят в журнал.

Прибор ПМР-1

Прибор ПМР-1 (рис. 3.48) предназначен для определения морозостойкости резины при растяжении. Испытания с его использованием проводятся в воздушной и жидкостной средах при температуре от + 20 °С до –75 °С.

Прибор обеспечивает проведение испытаний до заданной деформации и нагрузки, а также при постоянной нагрузке в течение 5 мин. На приборе могут испытываться один образец или сразу три образца одновременно.



Рис. 3.48. Общий вид прибора ПМР-1

Технические данные прибора:

Наибольшая предельная нагрузка	100 Н
Скорость перемещения активного захвата	1-15 мм/мин
Максимальное перемещение активного захвата	не более 35 мм

Регистрация показаний "нагрузка-время"

потенциометром

Регистрация деформации

индикатором

Для испытания исследуемого полимерного покрытия (пленки) вырезают образец прямоугольной формы размером 10x50 мм и закрепляют в захватах прибора ПМР-1. Расчет модуля упругости исследуемых полимерных пленок проводился по формуле

$$E = \frac{R \cdot l}{\Delta l_0 \cdot S_0}, \quad (3.43)$$

где E – модуль упругости полимера, МПа; R – усилие при растяжении, Н; $l_{\text{н.о}}$ – начальная длина образца, мм; Δl_0 – удлинение образца, мм; S_0 – площадь поперечного сечения образца, мм^2 .

При расчете модуля упругости полимеров из диаграммы берутся данные в зоне упругости материала, что составляет до 50 % прочности полимера при растяжении.

Ускоренный метод определения температурного коэффициента линейного расширения

Определение температурного коэффициента линейного расширения по стандартному методу занимает много времени. Так, для определения температурного коэффициента линейного расширения исследуемого материала в интервале температур от -40 $^{\circ}\text{C}$ до $+40$ $^{\circ}\text{C}$ требуется не менее 8 часов, кроме этого необходимо вводить при расчете поправочный коэффициент на прибор.

Разработанный в СибНИИГиМ ускоренный метод определения температурного коэффициента линейного расширения позволяет сократить время эксперимента с восьми часов до 40 минут и повысить точность измерения за счет исключения поправки на прибор (Рис. 3.49).

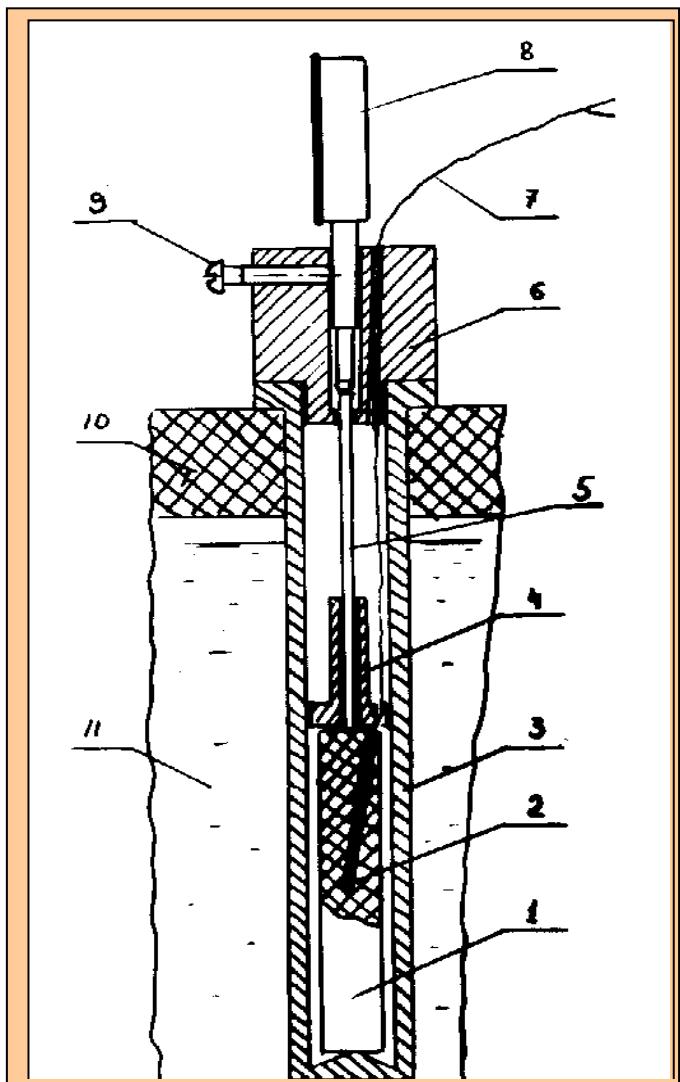


Рис. 3.49. Схема прибора для определения температурного коэффициента линейного расширения :

1 – испытуемый образец; 2 – спай термопары; 3 – корпус прибора; 4 – направляющая втулка; 5 – толкатель; 6 – крышка прибора; 7 – провода термопары; 8 – индикатор часового типа; 9 – стопор; 10 – теплоизолятор; 11 – термостатическая камера.

Испытания выполняются на образцах диаметром 20 мм и длиной 120 мм. Перед испытанием в образце 1 делается отверстие под термопару с таким расчетом, чтобы спаи 2 находились в центре образца. Для испытания в термостатическую камеру заливается незамерзающая жидкость 11, например, тосол, спирт или антифриз. Затем камера закрывается теплоизолированной крышкой 10, в которой установлен корпус прибора дилатометра ,3 и все это охлаждается до заданной температуры за счет применения морозильного агрегата, контактного термометра и электрической мешалки. После стабилизации температуры охлаждающей жидкости и температурных деформаций в корпусе прибора в него помещается исследуе-

мый образец с термопарой, нагретый до определенной положительной температуры. В процессе охлаждения образца параллельно фиксируются температура и длина образца. Поправка на прибор исключается за счет постоянства температуры прибора в процессе всего опыта.

3.8.6. Исследования физико-механических свойств полимерных защитных покрытий в процессе старения

Старение полимерных покрытий из исследуемых составов оценивалось по изменению их физико-механических свойств:

- величины адгезии покрытия с подложкой, МПа;
- прочности полимера при сжатии и растяжении, МПа;
- относительного удлинения, %;
- модуля упругости, МПа;
- температурного коэффициента линейного расширения полимера, 1/град.

Критерием оценки старения принята приведенная выше, зависимость (3.34).

В работах А.Т. Санжаровского [45] и других авторов показано, что адгезия подвержена воздействию касательных напряжений только у краев, а в остальной части покрытия касательные напряжения равны нулю, поэтому адгезию в наиболее чистом виде можно выявить только при помощи нормальной отрывающей силы, вызывающей нормальные напряжения [24].

Величина адгезии покрытия с металлом определялась по методу ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева путем растяжения двух склеенных между собой исследуемым составом полувосьмерок на разрывной машине со скоростью растяжения 1 мм в минуту. Напряжение, возникающие на контакте полимерного покрытия с подложкой σ_k в процессе эксплуатации, рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_k = \frac{(\alpha_{\text{л.п.}} - \alpha_{\text{л.с.}}) \cdot \Delta T}{1 - \mu}, \quad (3.44)$$

где $\alpha_{\text{л.п.}}$, $\alpha_{\text{л.с.}}$ – температурные коэффициенты линейного расширения полимера и стали (1/град.); ΔT – разность температур, $^{\circ}\text{C}$; μ – коэффициент Пуассона.

Прочность полимерных покрытий при растяжении и относительное удлинение определялись на приборе ПМР-1 (см. рис. 3.48). Испытания выполнялись на образцах – пленках размером 1 x 0,1 x 5 см, изготовленных из составов 1, 2 и 3 (см. табл. 3.3).

Скорость растяжения при испытании составляла 1 мм/мин. Удлинение образцов и усилие при растяжении фиксировались на диаграмме. Относительное удлинение исследуемых пленок рассчитывалось по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \%, \quad (3.45)$$

где ε – относительное удлинение полимера, %; Δl – удлинение образца, мм; l – начальная длина образца, мм.

Кривые растяжения пленок из исследуемых составов (см. табл. 3.3) представлены на рис. 3.50.

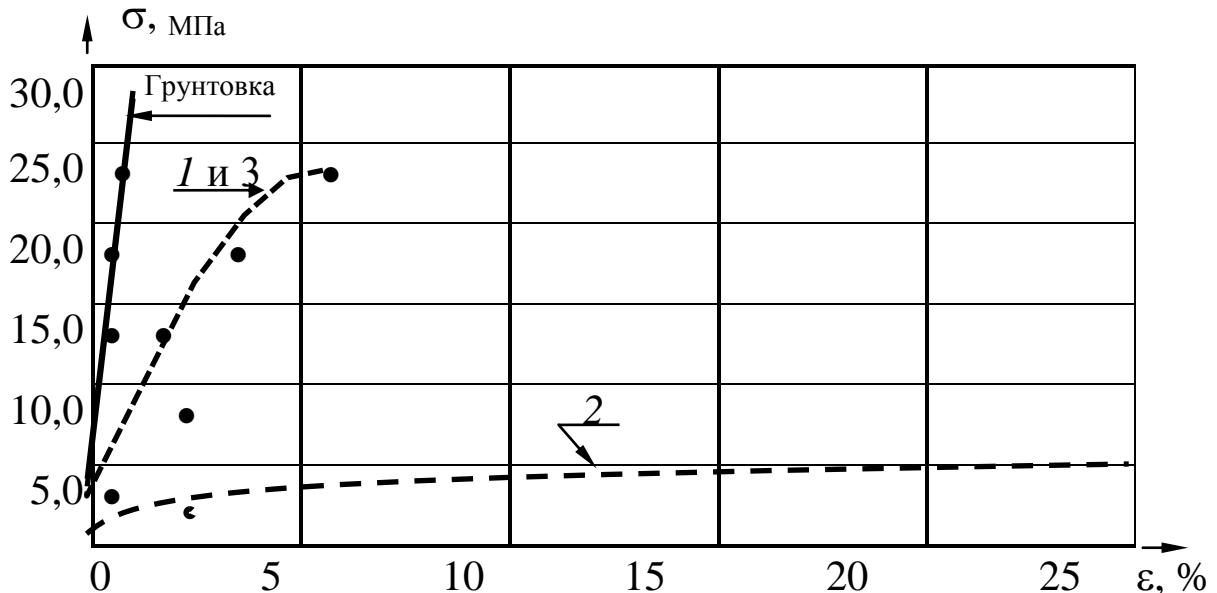


Рис. 3.50. Разрывные диаграммы

Коэффициент линейного термического расширения полимерных материалов определялся по ускоренной методике, разработанной в СибНИИГиМе. Исследуемый образец диаметром 20 мм и длиной 120 мм, в середине которого закреплена термопара, нагревали до $+40^{\circ}\text{C}$ и помещали в дилатометр, установленный в термостатическую камеру с постоянной температурой -40°C .

По мере охлаждения образца одновременно фиксировали температуру и длину образца (рис. 3.51). Расчет температурного коэффициента линейного расширения выполнялся по формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}, \quad (3.46)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент линейного расширения, 1/град.;

ΔT – разность температур, $^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент линейного расширения для составов 1 и 3 $\alpha_{\text{л}} = 150 \cdot 10^{-6}$ 1/град., для состава 2 – $\alpha_{\text{л}} = 170 \cdot 10^{-6}$ 1/град.

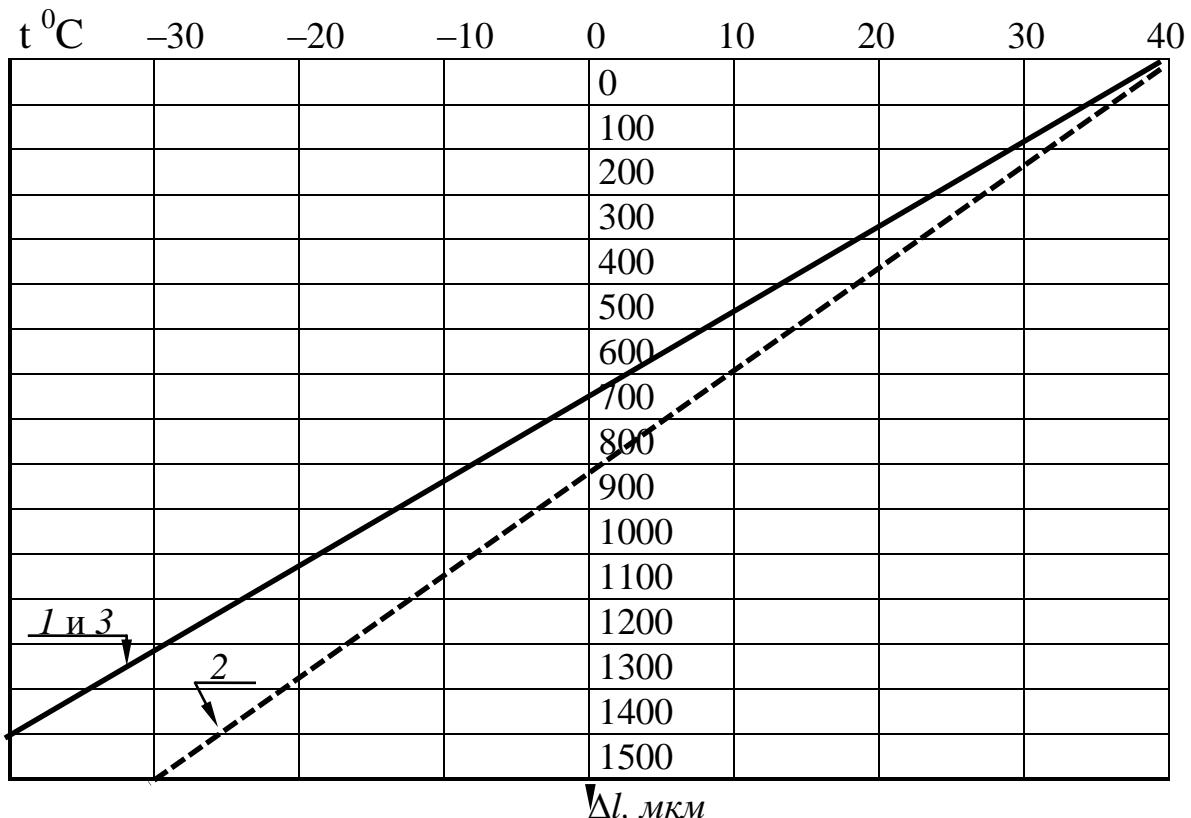


Рис. 3.51. Изменение длины образцов от температуры

Для изучения влияния отдельных факторов, влияющих на процесс старения защитных покрытий, была выполнена серия опытов для составов 1, 2 и 3 (см. табл. 3.3). Результаты испытаний полимерных защитных покрытий на старение при влиянии различных факторов представлены в табл. 3.8 и на рис. 3.52–3.54.

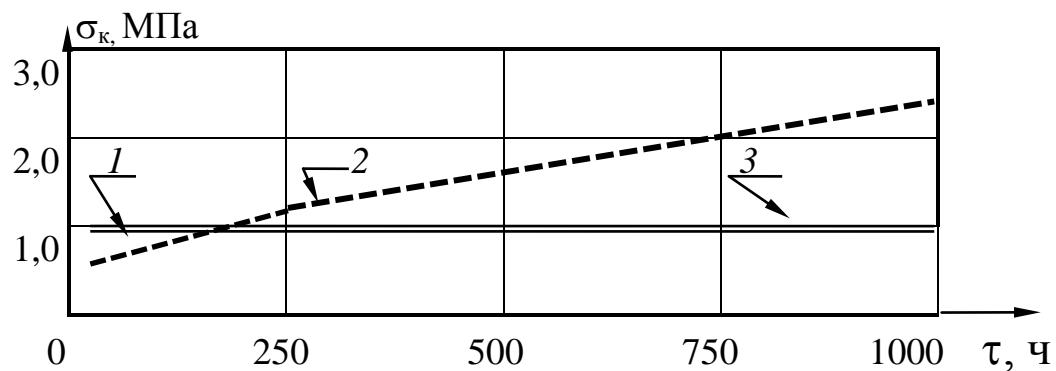


Рис. 3.52. Изменение напряжений на контакте полимер-металл при облучении ксеноновой лампой ДКСТВ-6000 образцов из составов 1, 2 и 3

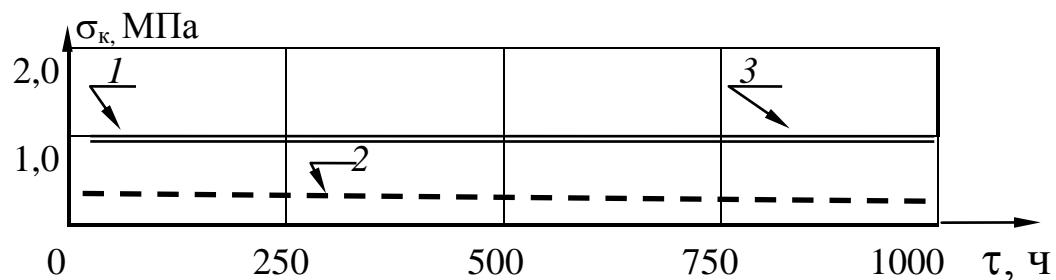


Рис. 3.53. Изменение напряжений на контакте полимер-металл при циклическом замораживании и оттаивании образцов из составов 1, 2 и 3

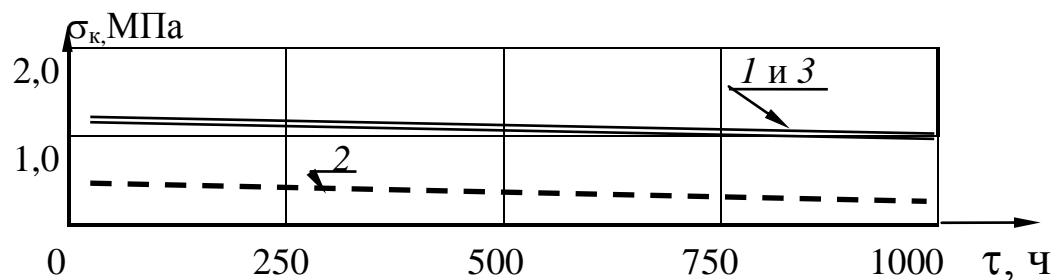


Рис. 3.54. Изменение напряжений на контакте полимер-металл при воздействии водного потока со скоростью 9 м/с на образцы из составов 1, 2 и 3

По данным исследования установлено, что для составов 1 и 3 исследуемые факторы старения не оказывают существенного влияния на изменение физико-механических свойств полимерных покрытий.

Для состава 2 изменение физико-механических свойств полимерных покрытий явно выражено при облучении ксеноновой лампой ДКСТВ-6000.

Таблица 3.8

Результаты испытания полимерных защитных покрытий на старение при влиянии различных факторов

Виды испытаний на старение	Кол-во циклов или часов	Физико-механические свойства покрытий для составов из табл. 3.3											
		Состав 1				Состав 2				Состав 3			
		E МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа	E МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа	E МПа	σ_p МПа	σ_k МПа	σ_a МПа
Циклическое замораживание и оттаивание на воздухе	60	231	25	1,0	>6	65	4,7	0,3	>3	241	27	1,0	>6
	120	226	24	0,8	>6	52	3,5	0,25	>3	296	22	1,2	>6
	240	237	24	1,0	>6	50	3,4	0,25	>3	240	23	1,0	>6
	480	255	20	1,0	>6	47	2,8	0,23	>3	247	29	1,0	>6
Циклическое замораживание и оттаивание в воде	30	232	26	1,0	>6	57	4,1	0,27	>3	269	26	1,0	>6
	60	249	23	1,0	>6	43	3,9	0,21	>3	242	22	1,0	>6
	120	251	28	1,0	>6	41	3,6	0,21	>3	268	30	1,0	>6
	240	248	19	1,0	>6	31	2,9	0,15	>3	317	27	1,2	>6
Облучение ксеноновой лампой	50 ч	198	24	0,8	>6	125	5,6	0,6	>3	274	31	1,0	>6
	250 ч	210	33	0,8	>6	232	7,1	1,1	>3	270	27	1,0	>6
	500 ч	257	29	1,0	>6	269	7,2	1,3	>3	280	27	1,2	>6
	1000 ч	219	23	0,8	>6	488	13,0	2,4	>3	247	28	1,0	>6
Воздействие водного потока со скоростью 9 м/с	25 ч	325	23	1,2	>6	83	5,3	0,4	>3	288	24	1,2	>6
	150 ч	225	24	0,8	>6	75	5,1	0,36	>3	283	22	1,2	>6
	350 ч	310	26	1,2	>6	68	4,9	0,33	>3	257	16	1,0	>6
	720 ч	254	27	1,0	>6	55	4,0	0,26	>3	253	28	1,0	>6

Циклическое замораживание и оттаивание, а также воздействие водного потока в отдельных случаях даже улучшают физико-механические показатели покрытий из эпоксидных смол. Так, для состава 2 при воздействии водного потока в течение 720 ч напряжение на контакте полимер-металл снизилось с 0,4 до 0,26 МПа, а при циклическом замораживании и оттаивании напряжения снизились с 0,3 до 0,23 МПа и с 0,27 до 0,15 МПа.

По результатам исследований можно сделать вывод, что основным фактором, влияющим на старение защитных полимерных покрытий, является солнечная радиация. Однако при рассмотрении трубопроводов ее влияние в большинстве случаев следует исключить.

Критерий надежности и долговечности для исследуемых составов, согласно зависимости (3.34), обеспечен более, чем на порядок (табл. 3.7, 3.8).

На основании многолетних исследований эпоксидных композиций при гидроизоляции и защите от коррозии железобетонных сооружений и конструкций на гидромелиоративных системах Сибири, а также с учетом данных других авторов срок службы эпоксидных покрытий составляет более 15 лет, а при отсутствии воздействия солнечной радиации, как, например, в трубопроводах, срок службы таких покрытий значительно увеличивается.

Выводы по главе 3

1. Установлены основные закономерности движения тора:
 - параметры траектории движения тора в трубе определяются его линейными размерами и не зависят от скорости перемещения;
 - траектория движения тора включает участок, на котором абсолютное значение скорости равно нулю. Величина этого участка зависит от линейных размеров тора и равна $\pi D + 2l_{\text{т.р.}}$.

2. Установлено, что движение тора качением в трубе обеспечивается при условии, когда отношение избыточного давления, необходимого для перемещения тора, к давлению внутри тора с учетом коэффициента трения скольжения будет меньше отношения длины тора к его радиусу, а для движения двух торов необходимо, чтобы отношение между давлением на перемещение торов и давлением внутри торов с учетом коэффициента трения скольжения не превышало отношения линейных размеров обоих торов.

3. Определено условие, исключающее возможность смещения торов относительно друг друга, оно заключается в том, что величина гидростатического давления изолирующего состава не должна превышать величины избыточного давления, необходимого для перемещения тора.

4. Разработаны технические условия на изготовление тороидальных резиновых камер для торов-разделителей, обеспечивающих работу в трубах диаметром от 100 до 900 мм.

5. Выбраны полимерные составы для изоляции внутренней поверхности трубопроводов способом окрашивания, включающие эпоксидную смолу, растворители, пластификаторы, наполнители (пигменты) и отвердители.

6. Разработана методика ускоренных испытаний на старение полимерных защитных покрытий с привязкой к конкретным условиям эксплуатации.

7. Разработаны приборы и оборудование, необходимые для испытания и определения физико-механических свойств защитных полимерных покрытий.

8. Установлено, что основным фактором, влияющим на старение защитных полимерных покрытий, является солнечная радиация. Критерий надежности для исследуемых составов, согласно зависимости (3.34), обеспечен более чем на порядок. Однако для трубопроводов влиянием этого фактора можно пренебречь.

9. Обоснованы основные параметры технологического процесса изоляции внутренней поверхности трубопроводов:

- величина давления воздуха в торах-разделителях и торах-уплотнителях – соответственно до 0,07 МПа и 0,1 МПа;
- величина избыточного давления воздуха, необходимого для перемещения торов-разделителей – 0,01–0,04 МПа;
- скорость движения торов-разделителей – 0,1– 0,25 м/с;
- расход защитного состава при нанесении на внутреннюю поверхность труб – 0,25–0,5 кг/м².

10. Разработаны технологические схемы, регламент, необходимое оборудование и оснастка для внутренней изоляции трубопроводов диаметром от 100 до 600 мм способом окрашивания для стационарных и трассовых условий.

4. ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ РУКАВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

4.1. Общие положения

Прочностные свойства стальных труб в системах водоснабжения и водоотведения используются всего лишь на 2–4 %, поэтому даже после длительного срока эксплуатации со степенью износа до 50 % и более трубопроводы обладают достаточной несущей способностью. На практике это подтверждается тем, что на таких трубопроводах, эксплуатируемых уже более 40 лет, коммунальные службы, занимаясь локальным ремонтом отдельных участков, появляющихся вследствие широкого распространения язвенной коррозии, продлевают срок службы трубопроводов до следующего порыва [69].

Применение технологии оклеечной изоляции внутренней поверхности трубопроводов бестраншейным методом позволит существенно увеличить срок службы действующих систем водоснабжения и водоотведения и резко снизить эксплуатационные затраты на капитальные и текущие ремонты.

Разработанная авторами бестраншейная технология восстановления трубопроводов заключается в том, что в трубопровод вводится пропитанный эпоксидным составом многослойный тканевый рукав, изготовленный из прочной не гниющей ткани. Учитывая, что тканевая оболочка является воздухопроницаемой, то на момент введения и оклеивания внутренней поверхности трубы используется дополнительный рукав из эластичного воздухонепроницаемого материала (например, полиэтилена), который удаляют после приклеивания тканевого рукава к внутренней поверхности трубопровода.

Ввод комбинированного рукава в трубопровод может осуществляться с выворотом за счет создания разности давлений воздуха в рукаве и трубопроводе либо без выворота, путем протяжки тро-сом лебедки.

Достоинство технологии состоит в том, что пропитка тканевого рукава эпоксидным составом осуществляется в процессе ввода в трубопровод. Это обеспечивает визуальный контроль за пропиткой тканевого рукава и расходом состава, который доливается в процессе пропитки. В отличие от зарубежных аналогов, данный метод позволяет создать в трубопроводе многослойное покрытие в виде новой армированной пластмассовой трубы, превосходящей по многим физико-механическим показателям стальную.

Разработаны конструкции и способы изготовления многослойных тканевых рукавов, методы их пропитки полимерным составом и совмещения с полиэтиленовым рукавом. Все технологические операции выполняются с применением отечественного оборудования, комплекта специальных устройств и агрегатов, разработанных авторами.

При выполнении работ используются полимерные материалы, входящие в "Перечень материалов и реагентов, разрешенных ГК СЭН РФ к применению в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения", которые утверждены 23.10.92 г. № 01-19/32-11, и письмом ЦГСЭН Красноярского края № 52 от 2.03.92 г.

Тканевый рукав как армирующая основа изготавливается из одного или нескольких слоев прочной не гниющей ткани, например, полиамидной (артикул 56035). В качестве клеящего пропиточного состава используются полимерные композиции на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отличающиеся высокими физико-механическими свойствами.

До начала санации трубопроводов проводят следующие мероприятия, не входящие в общий цикл работ:

- сбрасывают воду с восстанавливаемого участка трубопровода;
- снимают запорную арматуру или вырезают отрезки труб по концам, обеспечивающие свободный доступ к входу и выходу восстанавливаемого участка трубопровода;
- доставляют в зону работ механизмы, оборудование, инструмент, инвентарь, приспособления и материалы;
- определяют параметры трубопровода (диаметр, длину) и состояние его внутренней поверхности.

Параметры трубопровода определяются с целью подготовки тканевых и полиэтиленовых рукавов, торов-разделителей и торов-уплотнителей, а также для расчета необходимого количества защитного состава. Отечественный метод восстановления трубопроводов включает следующие технологические операции:

- 1) опорожнение трубопровода от воды и протаскивание каната с помощью тора-разделителя или полиэтиленового рукава;
- 2) сушку внутренней поверхности трубопровода посредством продувки горячим воздухом от теплогенератора;
- 3) гидроочистку каналопромывочной машиной КО-512 с каруселью, или механическую очистку внутренней поверхности трубопровода скребками и поршнями «Доркомтехника»;
- 4) обеспыливание внутренней поверхности трубопровода одновременной продувкой с протаскиванием через трубопровод металлической щетки;
- 5) телевизионную инспекцию;
- 6) прогрев трубопровода перед введением оклеочного рукава подогревателем воздуха до $T > 40-50$ °С на выходе из восстанавливаемого трубопровода;
- 7) ввод рукава можно осуществлять с выворотом за счет создания разности давлений воздуха или без выворота путем протяжки тросом;

- 8) после ввода пропитанного эпоксидным составом комбинированного рукава обеспечивается его прижим к внутренней стенке трубопровода давлением воздуха до полимеризации клея;
- 9) удаление полиэтиленового рукава;
- 10) телемониторинг;
- 11)стыковку восстановленных участков трубопровода.

Технологические операции по подготовке внутренней поверхности трубопроводов (пункты 1–5) изложены в главе 2.

4.2. Изготовление тканевых рукавов

Закупка за рубежом специальных рукавов или оборудования для их изготовления требует значительных капитальных вложений. С целью решения данных проблем были усовершенствованы и разработаны новые конструкции рукавов для оклеечной изоляции внутренней поверхности трубопроводов, которые могут быть использованы как при строительстве новых трубопроводов, так и при восстановлении вышедших из строя в процессе эксплуатации.

Основой для изготовления рукавов из большого ассортимента технических тканей, выпускаемых отечественной промышленностью, обладающих высокой прочностью и долговечностью, не подверженных гниению, была выбрана полиамидная ткань (арт. 56035) толщиной – 1 мм.

Иркутским заводом ОАО «Синтепон» была изготовлена опытная партия материала для изготовления однослойных рукавов толщиной до 5 мм. При этом использовалась полиамидная ткань арт. 56035 с иглопробивной набивкой синтепона плотностью до 400 г/м² (рис.4.1).



**Рис. 4.1. Фрагменты изготовления рукавов на Иркутском заводе
ОАО «Синтепон» для восстановления трубопровода Ду-700мм**

В данном разделе представлены различные варианты и способы изготовления тканевых рукавов.

4.2.1. Изготовление спиральных бесшовных рукавов

Для снижения затрат на изготовление специальных рукавных оболочек и повышения качества покрытия в трубу вводят ткань, пропитанную жидким клеем, свернутую относительно продольной оси в спираль (без сшивки). При изготовлении однослойных спиральных рукавов, заготовку из ткани длиной, соответствующей длине трубопровода, и шириной, равной четырем диаметрам изолируемой трубы, сворачивают в спираль относительно продольной оси и наматывают на барабан. Ширина плоско сложенной оболочки составит $1/3$ начальной ширины заготовки ткани. Например, для трубы $D = 300$ мм ширина ткани равна $4 D = 4 \cdot 0,3$ м = 1,2 м, а ширина плоско сложенной оболочки – $1,2 : 3 = 0,4$ м.

Схема изготовления однослойного спирального рукава представлена на рис. 4.2.

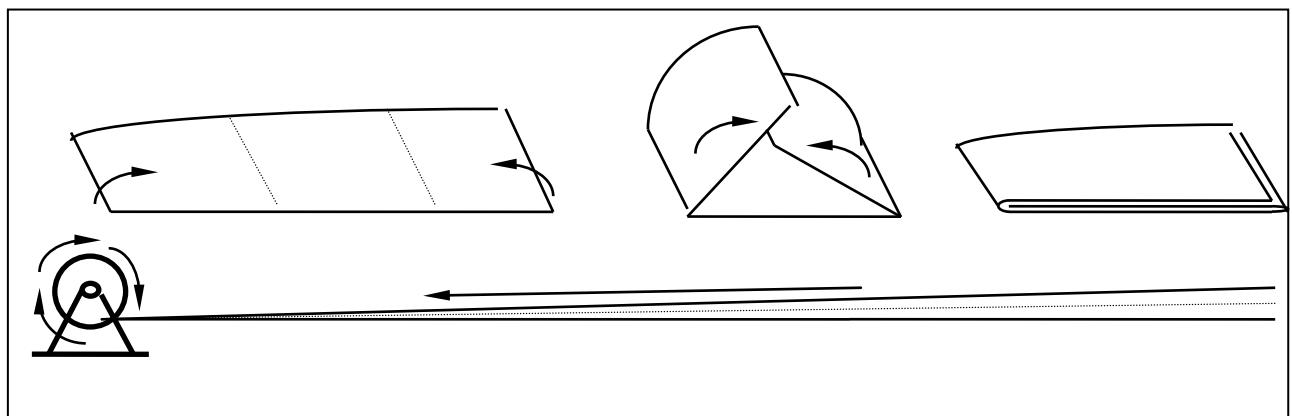


Рис. 4.2. Схема изготовления однослойного спирального рукава

Для механизации процесса изготовления комбинированного рукава, состоящего из свернутого в спираль относительно продольной оси тканевого полотнища, внутри которого размещен полиэтиленовый рукав, соответствующий внутреннему диаметру восстанавливаемого трубопровода, была разработана схема (рис. 4.3).

Установка работает следующим образом. Ткань с рулона заводят на воротник и сворачивают в рукав. В середину спиральной тканевой оболочки заводят полиэтиленовый рукав, концы совмещают и протягивают до ворота, на котором крепится катушка для намотки комбинированного рукава.

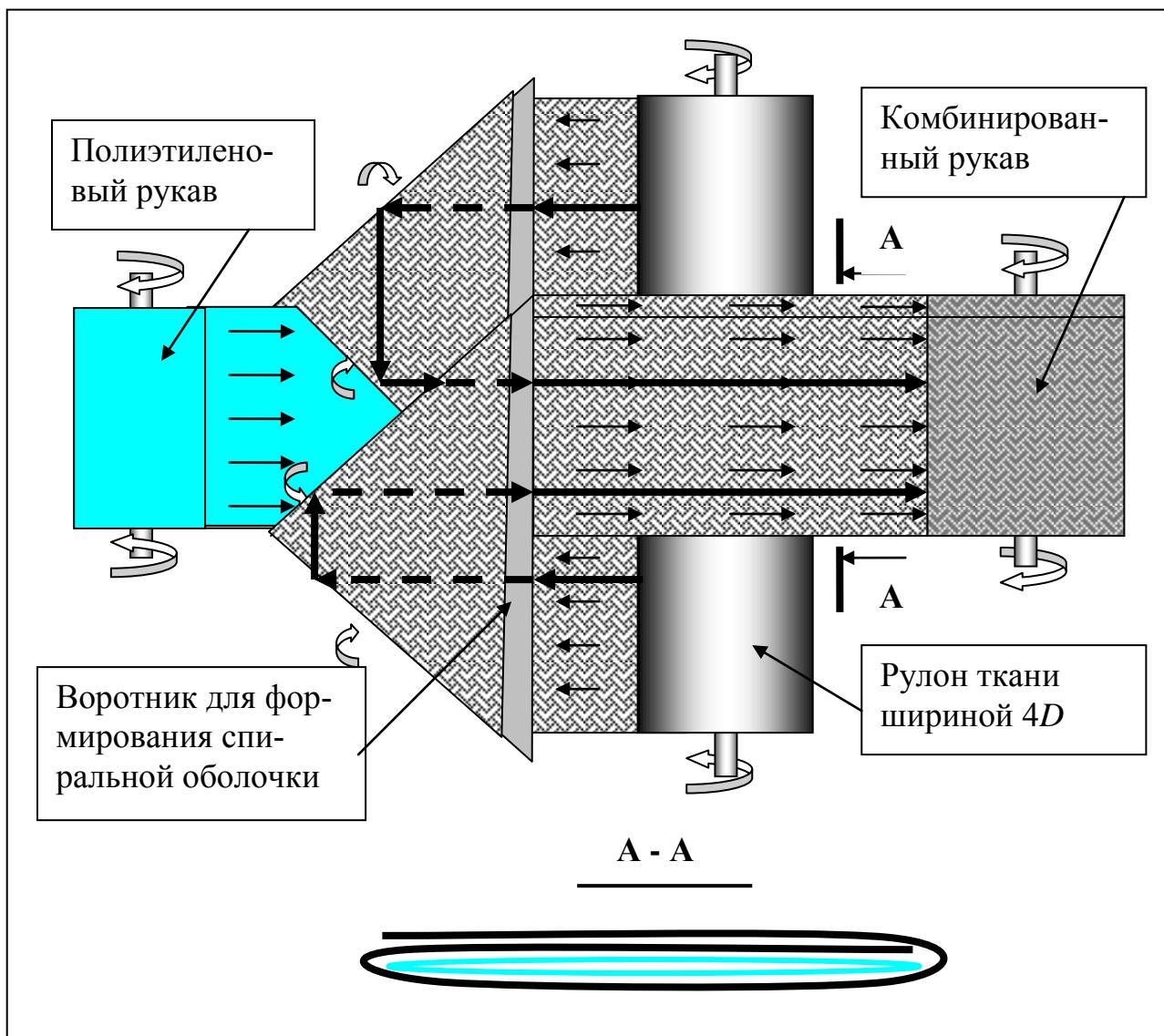


Рис. 4.3. Схема изготовления комбинированного рукава

В табл. 4.1 приведены расчетные данные на изготовление спиральных однослойных оболочек для трубопроводов диаметром от 100 до 1200 мм.

При изготовлении многослойных спиральных оболочек полотна ткани длиной, соответствующей длине трубопровода, и шириной, соответствующей периметру поперечного сечения трубы, накладывают друг на друга со сдвигкой по ширине каждого слоя на 100 мм. По центру относительно продольной оси верхнего слоя ткани укладывают рукав из полиэтиленовой пленки толщиной 100–150 мкм, соответствующий внутреннему диаметру трубопровода. Затем полотна ткани с полиэтиленовым рукавом сворачивают в спираль относительно продольной оси и наматывают на барабан для последующей пропитки ткани kleem и протяжки в трубопровод.

Таблица 4.1

Расчетные данные для однослойных рукавных оболочек

№	Показатель	Диаметр трубы, мм						
		100	150	300	500	700	900	1200
1	Периметр трубы	31,4	47,1	94,2	157	219,8	282,6	376,8
2	4 диаметра трубы	40	60	120	200	280	360	480
3	Ширина плоско сложенного спирального рукава в 3 слоя	13	20	40	67	93	120	160
4	Диаметр рукава до сдвигки слоев	8,3	12,7	25,5	42,7	59,2	76,4	101,9
5	Нахлест ткани после раздува рукава до диаметра трубы	8,5	12,9	25,8	43	60,2	77,4	103,2

Начальный диаметр раздутой спиральной рукавной оболочки всегда меньше диаметра трубы (табл. 4.1). Однако после подачи в полиэтиленовый рукав воздуха до требуемого давления произойдет смещение слоев ткани, при этом диаметр тканевой оболочки будет равен диаметру трубы.

Положительным эффектом спиральных рукавных оболочек является то, что при раздуве рукава до прижатия к внутренней по-

верхности трубопровода, происходит сдвигка слоев ткани без образования складок на восстановленном участке трубопровода.

При работе с несшитым спиральным рукавом необходимо обращать внимание на исключение возможной сдвигки слоев ткани в процессе транспортировки, пропитки и вводе в трубопровод.

4.2.2. Изготовление одношовных рукавов с нахлестом

Схема одношовной оболочки с нахлестом представлена на рис. 4.4.

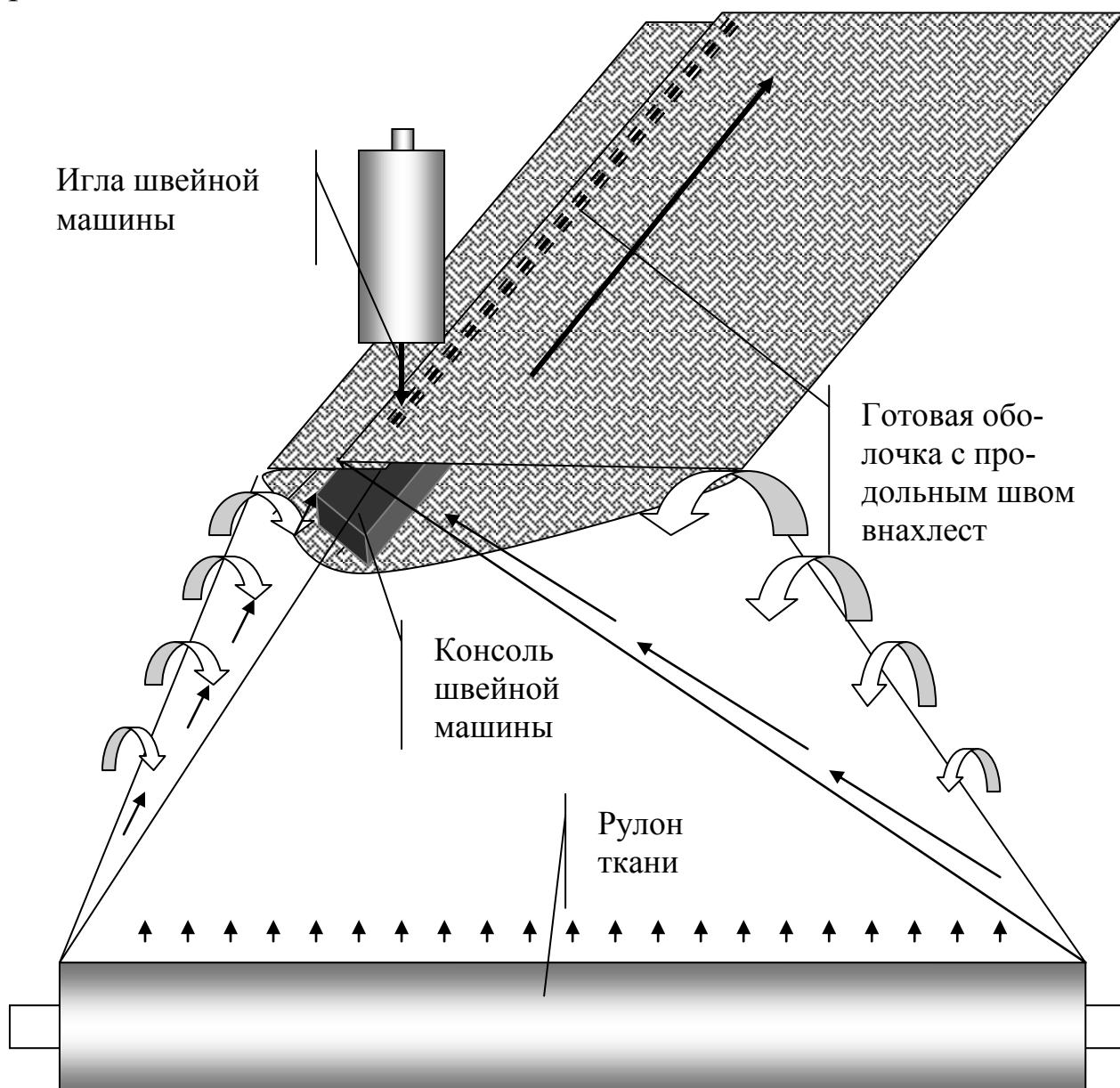


Рис. 4.4. Схема изготовления одношовной оболочки с нахлестом

Для ее изготовления сначала готовят полотно длиной, соответствующей восстанавливаемому участку трубопровода, и шириной, равной периметру трубы с припуском для образования нахлеста. Обрезка полиамидной ткани по размеру осуществляется молотковым паяльником мощностью 250 – 300 Вт. Стыковка полотнищ по длине производится с нахлестом 5–10 см с прошивкой на швейной машине тройным поперечным швом. Современные промышленные швейные машины позволяют сшивать рукавные оболочки одинарным, двойным или тройным продольным швом "в замок" или "внахлест".

4.2.3. Изготовление одношовных рукавов без нахлеста

Схема установки для формирования, обрезки и спайки одношовных рукавов без нахлеста представлена на рис. 4.5.

Установка для изготовления одношовного рукава без нахлеста (рис. 4.5) работает следующим образом. Ткань с рулона проходит через направляющие валки и поступает на воротник, который имеет форму прямоугольного треугольника, установленного под 45 градусов относительно вертикальной плоскости. При этом ткань складывается в два слоя относительно продольной оси, проходя через прижимные валки, изменяет направление с вертикального на горизонтальное и прижимается к транспортерной ленте из термостойкого материала. Далее свернутая ткань проходит через узел обрезки с одновременной сваркой шва. Размер ширины плоско сложенного рукава определяется половиной периметра поперечного сечения восстанавливаемого трубопровода с припуском на шов. Готовая рукавная оболочка наматывается на бобину, установленную на вороте с приводом от редуктора.

Производительность данной линии изготовления оболочек зависит от узла обрезки и сварки ткани. При использовании молотко-

вого паяльника мощностью 250 Вт скорость сварки достигает двух метров в минуту.

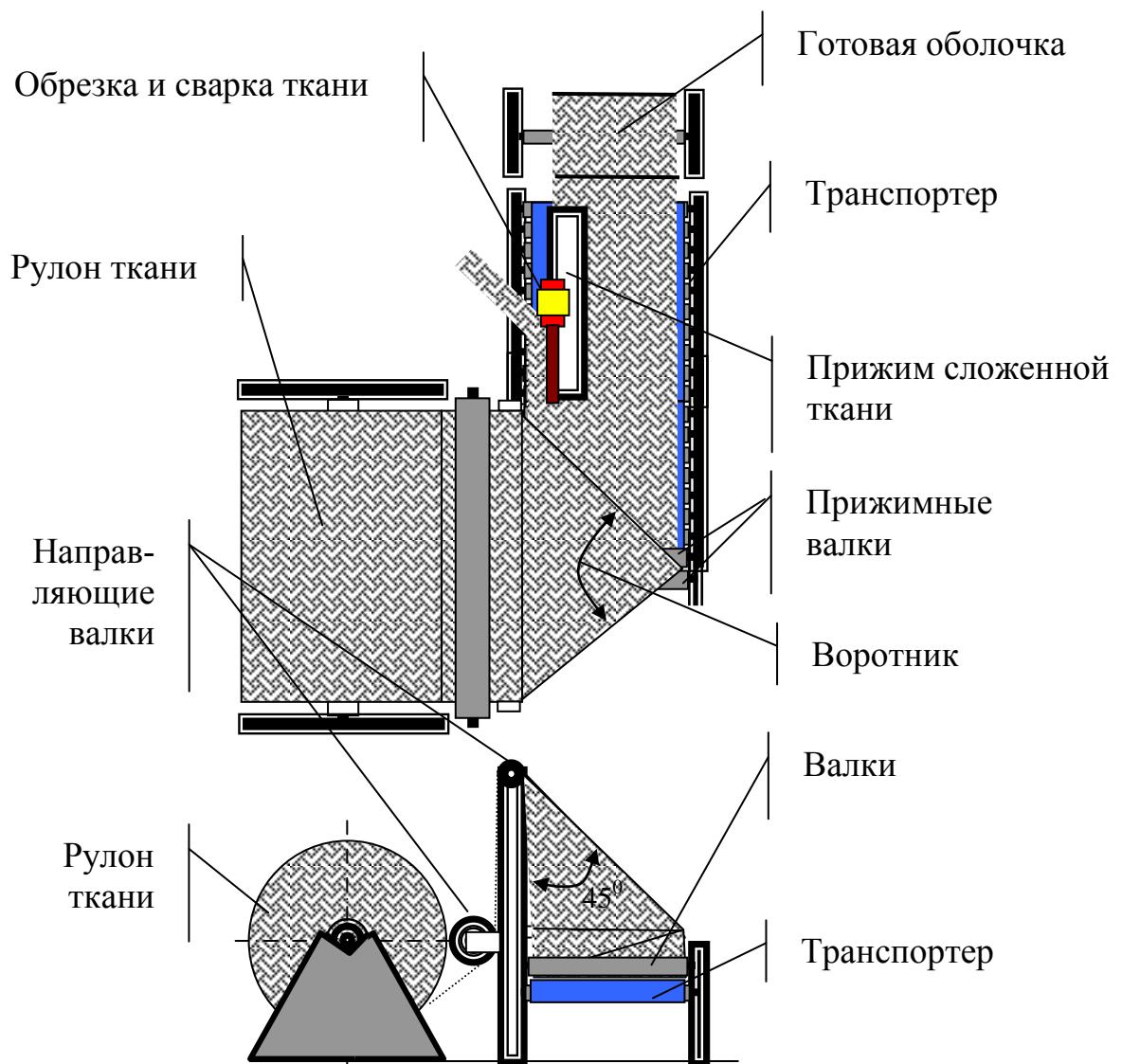


Рис. 4.5. Схема установки для формирования, обрезки и спайки одношовного рукава без нахлеста

При большей скорости, качество сварного шва ухудшается. Для обеспечения надежности сварных швов рекомендуется дополнительно рукав прошить на швейной машине.

4.2.4. Изготовление двухшовных рукавов без нахлеста

Представленная на рис. 4.6 технология изготовления двухшовных рукавных оболочек менее трудоемка и более экономична по сравнению с описанными выше технологиями. Данный метод позволяет изготавливать многослойные оболочки без предварительной подготовки полотнищ ткани.

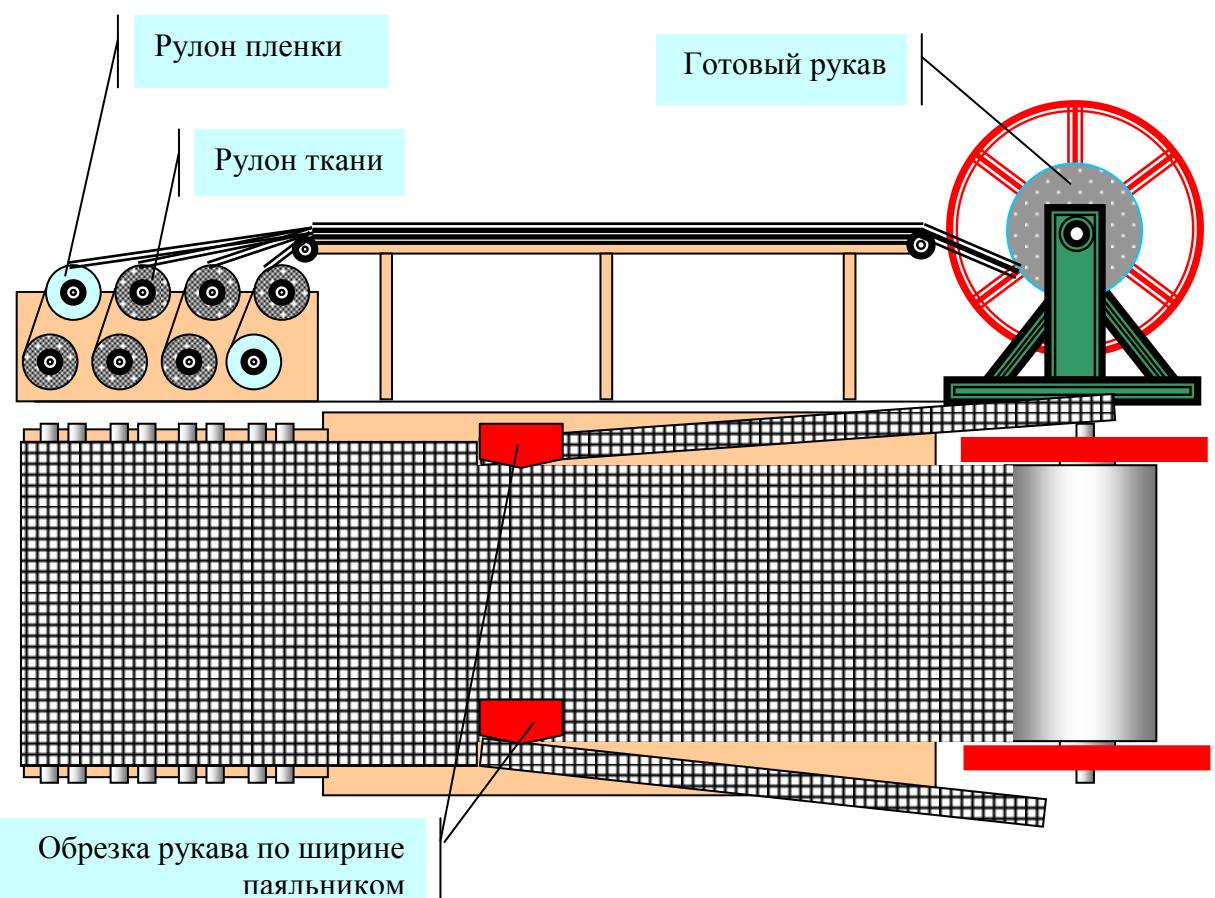


Рис. 4.6. Схема изготовления комбинированного рукава

Линия по изготовлению двухшовных рукавных оболочек включает станину, на которой укладываются рулоны ткани, их количество определяется числом слоев, требуемых для изготовления рукава. Например, для изготовления однослойной оболочки устанавливаются два рулона, для двухслойной – четыре, для трехслой-

ной – шесть и т. д. Для изготовления комбинированного рукава с герметизирующим слоем из полиэтилена рулоны с пленкой устанавливаются, как показано на схеме, один перед нижним слоем ткани, другой – перед верхним.

Сначала концы ткани и пленки с каждого рулона вытягивают и выравнивают, затем совмещенные слои ткани протаскивают по рабочему столу на его длину. После этого по трафарету или разметке верхнего слоя с помощью молотковых электрических паяльников мощностью 250 Вт производят обрезку и спайку продольных швов оболочки. Затем спаянную оболочку наматывают на бобину до момента подхода неспаянной ее части к концу стола. Далее операции повторяются. Когда один из рулонов заканчивается, на его место устанавливают другой и концы ткани прошивают внахлест тройным швом.

Длину готового рукава определяют произведением длины стола и количеством протяжек в процессе изготовления. Бригада из двух человек за смену может изготовить до 200 м рукава. При изготовлении рукавов для восстановления трубопроводов малого диаметра, например $D_y = 150$ мм, из ткани шириной 1 м получается одновременно четыре оболочки. Для усиления спаянных швов кромки можно прошить на швейной машине.

4.3. Способы пропитки тканевых рукавов полимерным составом

Пропитка тканевого рукава полимерным составом является одной из основных операций, влияющих на качество восстановления трубопроводов рукавными материалами. Последствия некачественной пропитки могут привести к отрицательному результату восстановительных работ. Для решения этой проблемы авторами

разработано несколько методов пропитки оболочек, представленных в данной главе.

В качестве kleящего пропиточного состава могут использоваться различные полимеры, соответствующие требованиям, которые предъявляют к составам по вязкости, жизнеспособности и физико-механическим свойствам покрытий, получаемых на их основе. Для этого нами исследовались полимерные композиции из эпоксидных смол ЭД-20 и ЭД-16, отличающиеся высокими физико-механическими свойствами.

В качестве отвердителей эпоксидных составов могут применяться полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ-6-01-450-70) или отвердитель "Этал-45М" (ТУ 2257-045-18826195-01).

Наилучшими технологическими показателями к применению обладает отвердитель "Этал-45М" (ТУ 2257-045-18826195-01). Отвердитель представляет собой однородную вязкую жидкость от светло- до темно-коричневого цвета. Предназначен для отверждения эпоксидных смол и компаундов на их основе.

Смолы и компаунды отверждаются этим отвердителем при температуре от -7 до + 45 °С в условиях любой влажности.

Этал-45М – нетоксичный отвердитель аминного типа, не вызывает аллергических реакций, не имеет неприятного запаха. Рекомендован к применению в следующих случаях:

- изготовление антикоррозионных покрытий бетонных и металлических поверхностей (полы, кровля, опоры, емкости, трубопроводы), стойких к воздействию воды, кислот и щелочей;
- изготовление стеклопластиковых изделий методом контактного формования (детали летательных аппаратов, судов, транспортных средств и пр.);
- изготовление kleев и компаундов с повышенной устойчивостью к агрессивным средам (кислотам и щелочам).

Расход отвердителя в полимерном составе по массе к эпоксид-

ной смоле:

- отвердитель ПЭПА – 10-12 % ;
- отвердитель «Этал-45М» – 50 %.

Армирующими материалами, при использовании отвердителя, могут служить полиамидные ткани, стеклоткани, стеклосетки различных марок, углеродная ткань, а также другие ткани, кроме пропиленовой.

При выборе армирующего материала необходимо учитывать его стойкость к химической среде, в которой будет эксплуатироваться изделие, сооружение или конструкция, и способность к пропитке эпоксидным компаундом.

На рис. 4.7 представлена диаграмма по определению расхода полимерного состава при пропитке однослойных рукавов для оклеенчной изоляции трубопроводов полиамидными тканями арт. 56270 и 56035 для различных диаметров и длины трубопроводов.

Для многослойных покрытий расход полимерного состава, определенный по диаграмме (рис. 4.7), умножается на количество слоев ткани армирующего рукава.

Пользование диаграммой показано стрелками. Например: расход полимерного kleящего состава для трубопровода диаметром 300 мм и длиной 250 м для ткани с артикулом 56270 составит 117 кг, для ткани с артикулом 56035 – 235 кг, а для ткани с арт. 56035, набитой синтепоном плотностью 400 г/м^2 – 824 кг

При использовании других армирующих тканей расход полимерного kleящего состава может изменяться, поэтому перед их применением необходимо опытным путем установить фактический расход и внести дополнения в диаграмму (рис. 4.7).

Толщина получаемого покрытия из ткани без набивки синтепона составляет 1 мм, а с набивкой до 5 мм.

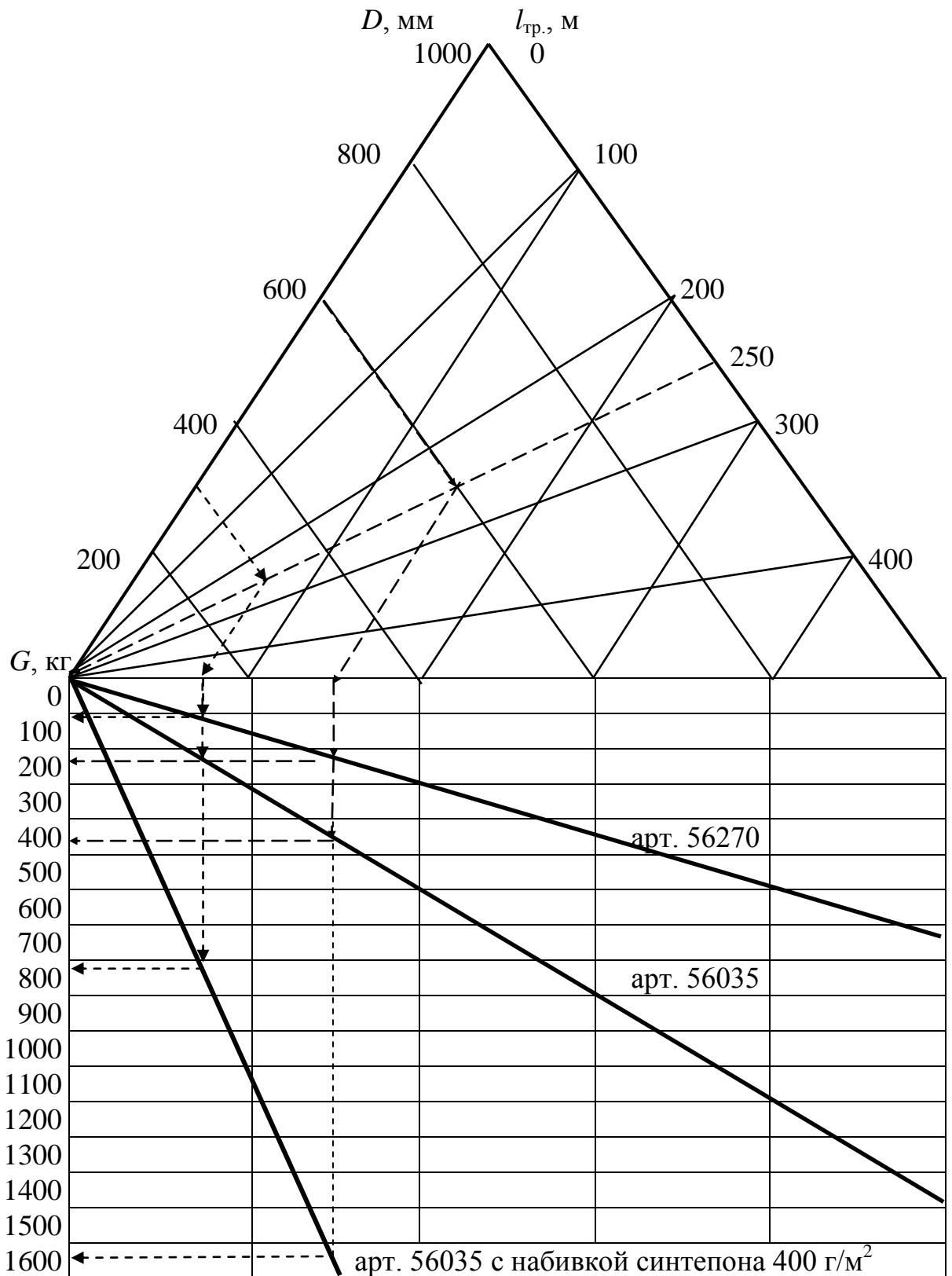


Рис. 4.7. Диаграмма по определению расхода полимерного состава на один слой оклеечной изоляции трубопроводов тканями (артикулы 56270 и 56035) для различных диаметров и длины трубопроводов

4.3.1. Внешняя пропитка

Пропитка однослойных тканевых оболочек выполняется обычным методом, путем пропуска рукавов через пропиточную ванну с полимерным составом и отжимными валками. Пропитка однослойного рукава представлена на рис. 4.8.

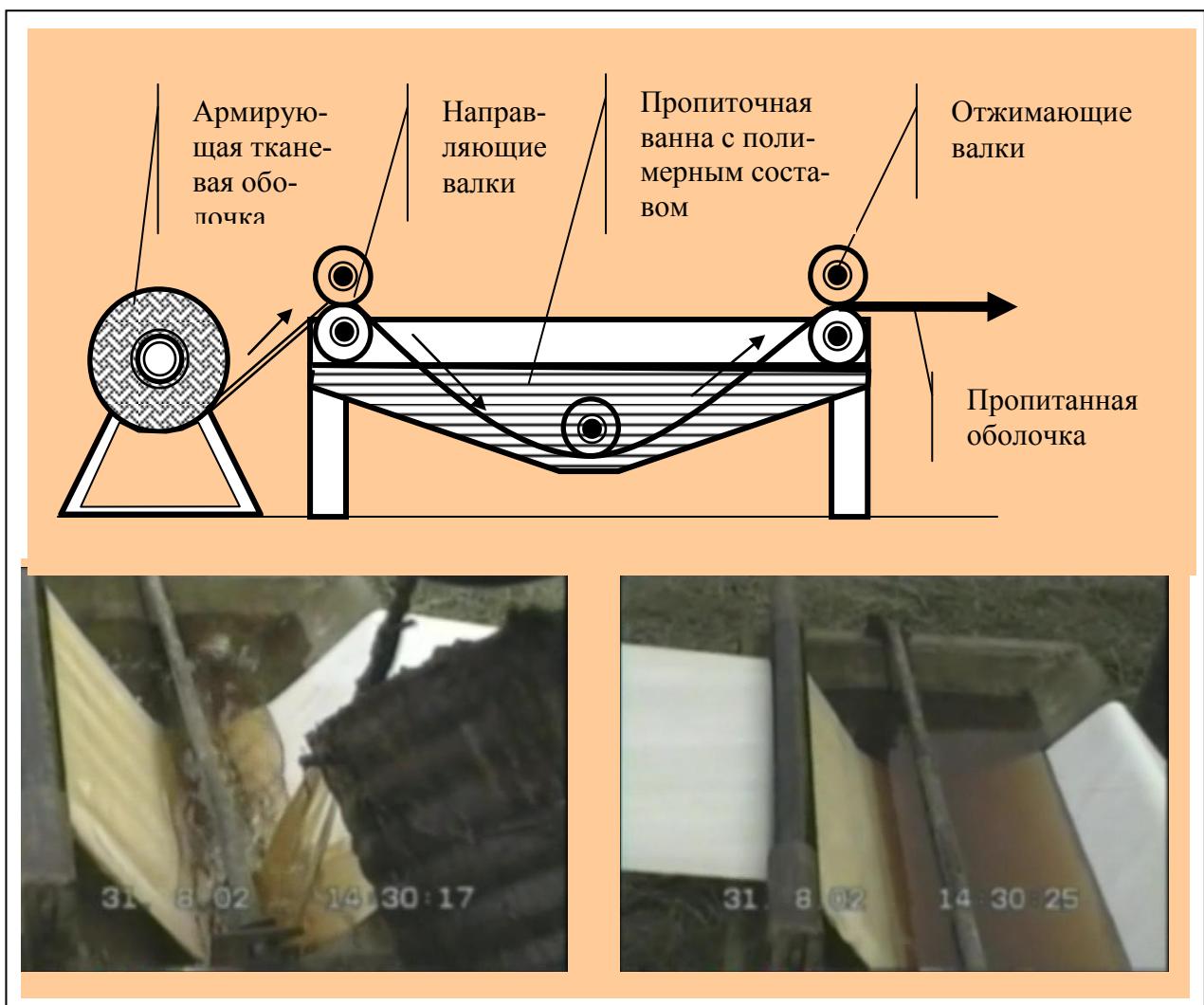


Рис. 4.8. Внешняя пропитка однослойного рукава полимерным составом

Преимуществом внешней пропитки являются простота технологического процесса и визуальный контроль за пропиткой оболочки и расходом полимерного состава, который доливается в пропиточную ванну по мере убывания. Данная схема очень эффективна

для пропитки однослоистых оболочек из ткани, набитой иглопробивным синтепоном.

При пропитке многослойных оболочек по схеме (рис. 4.8) рассмотренный метод оказался неэффективным, так как пропитывался только верхний слой рукава. Причинами тому являются капиллярное натяжение жидкости пропиточного состава и наличие воздуха между нитями и слоями ткани. Для решения проблемы пропитки многослойных оболочек была разработана специальная вакуумная пропиточная установка (рис. 4.9), с сохранением преимуществ внешней пропитки рукавов.

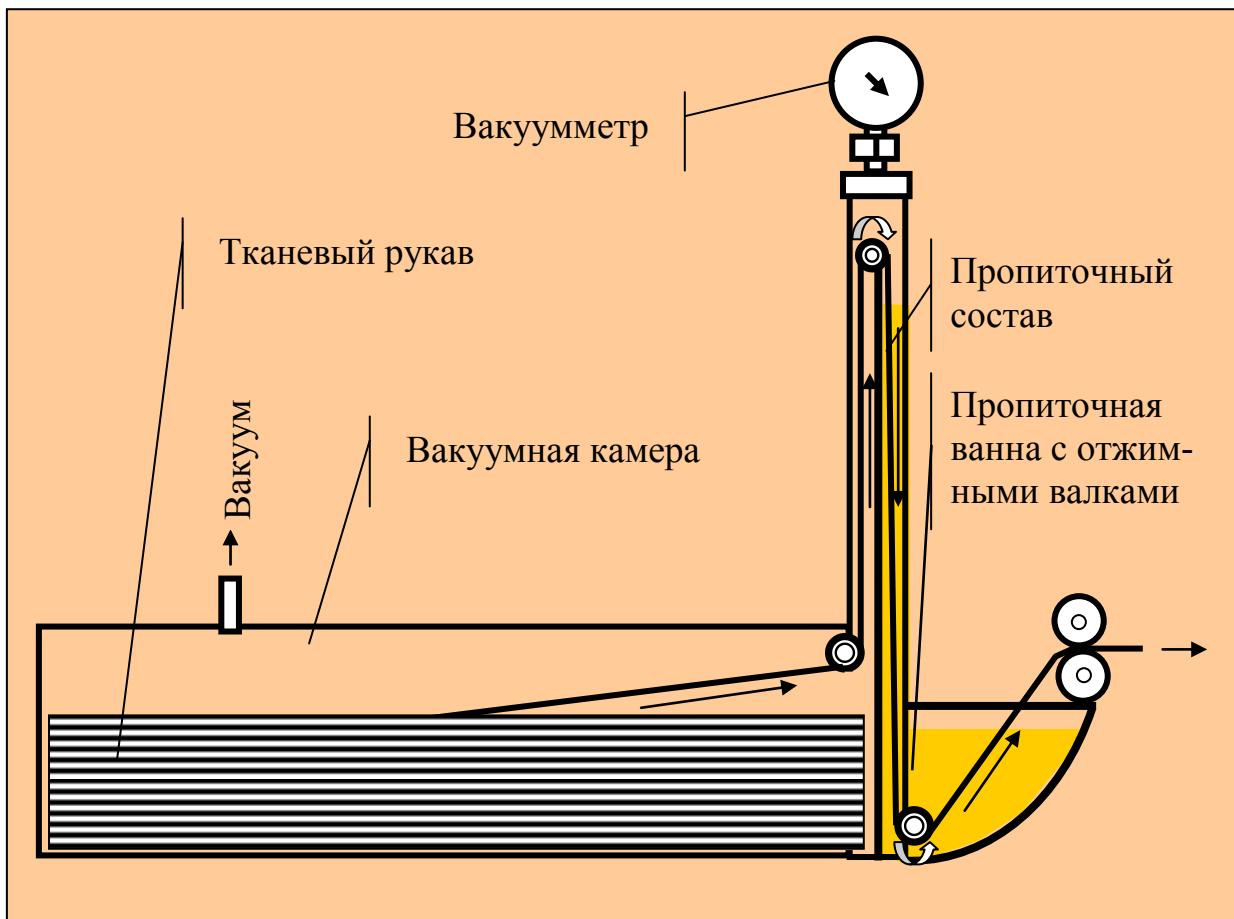


Рис. 4.9. Схема установки для пропитки многослойной тканевой оболочки полимерным составом с предварительным вакуумированием ткани

В данном случае эффект ускорения и увеличения глубины пропитки ткани достигается за счет предварительного вакуумирования путем снижения противодавления воздуха, удаляемого из пор между волокнами.

На рис. 4.10 представлены диаграммы по пропитке четырехслойной тканевой оболочки при величине вакуума от 0,2 до 0,8 м вод. ст. При этом учитывалась скорость протяжки многослойной оболочки через вакуумную пропиточную установку, которая соответствовала скорости ввода рукава в восстанавливаемый трубопровод.

1. 4-слойная тканевая оболочка без полиэтилена внутри

Порядковый № слоя	Величина вакуума при пропитке, Н м вод. ст.			
	0,2 м	0,4 м	0,6 м	0,8 м
1 слой	---	---	---	---
2 слой	---	---	---	---
3 слой	---	---	---	---
4 слой	---	---	---	---
4 слой	---	---	---	---
3 слой	---	---	---	---
2 слой	---	---	---	---
1 слой	---	---	---	---

2. 4-слойная тканевая оболочка с полиэтиленовым рукавом внутри

Порядковый № слоя	Величина вакуума при пропитке, Н м вод. ст.			
	0,2 м	0,4 м	0,6 м	0,8 м
1 слой	---	---	---	---
2 слой	---	---	---	---
3 слой	---	---	---	---
4 слой	---	---	---	---
Полиэтилен	---	---	---	---
4 слой	---	---	---	---
3 слой	---	---	---	---
2 слой	---	---	---	---
1 слой	---	---	---	---

Рис. 4.10. Диаграммы по пропитке четырехслойного тканевого рукава

Многослойная оболочка пропитывается перемещением ее через пропитывающий состав с предварительным вакуумированием ткани. Для этого оболочку, соответствующую длине восстанавливаемого участка трубопровода, укладывают в кассету (рис. 4.11), которую затем помещают в вакуумную камеру установки. Конец оболочки пропускают через направляющие валки согласно схеме, представленной на рис. 4.9. Затем в пропиточную ванну заливают полимерный состав.



Рис. 4.11. Укладка тканевого рукава в кассету

Внешняя пропитка рукава осуществляется одновременно с его вводом в восстанавливаемый участок трубопровода.

По результатам испытаний видно, что на пропитку каждого слоя тканевой оболочки требуется создать вакуум 0,2 м вод. ст. при скорости движения оболочки до 0,15 м/сек.

Для пропитки трехслойной оболочки, включающей в плоско сложенном виде шесть слоев ткани, достаточно создать вакуум величиной всего до 0,006 МПа. При этом пропиточный состав из ванны поднимается в щель на высоту, прямо пропорциональную величине вакуума и обратно пропорциональную плотности (объемному весу) пропиточного состава.

4.3.2. Внутренняя пропитка

Метод внутренней пропитки многослойных тканевых оболочек по качеству не уступает внешней пропитке с вакуумом, однако он более трудоемок и применим при восстановлении трубопроводов диаметром до 300 мм и длиной участков не более 50 м, так как эпоксидные пропиточные составы в большом объеме имеют малый срок «жизнеспособности».

Если при внешней пропитке рукавов полимерный состав готовится и заливается в пропиточную ванну порционно, по мере расходования в процессе их ввода в трубопровод, то при внутренней пропитке в рукав заливается сразу весь объем этого состава, что ограничивает применение данного метода в полевых условиях. На рис. 4.12 представлены фотофрагменты внутренней пропитки двухслойных оболочек.

Метод внутренней пропитки рукавов применялся нами при восстановлении двадцати пяти пятидесятиметровых участков технологического трубопровода диаметром 150 мм между заправочными колонками на станции Красноярск – Восточный (рис. 4.12) и на двух трубопроводах $D_y = 300$ мм под дорогой в г. Саяногорске.

Использование данного метода в зарубежных технологиях предполагает внутреннюю пропитку ламинированных рукавов в



Рис. 4.12. Фрагменты внутренней пропитки многослойных тканевых рукавов

стационарных условиях с последующим охлаждением и доставкой рукавов на объект в замороженном виде. Понятно, что такая технология требует больших энергетических, материальных и трудовых затрат, кроме этого необходима спецтехника для хранения и доставки рукавов.

4.4. Способы изготовления комбинированного рукава

Комбинированный рукав включает совмещение тканевого и полиэтиленового рукавов.

Полиэтиленовые рукава в предлагаемых технологиях используются в качестве вспомогательных элементов и применяются только при вводе и прижатии тканевой рукавной оболочки к внутренней стенке восстанавливаемого трубопровода. По завершении восстановительных работ полиэтиленовые рукава извлекают и в зависимости от их состояния, используют повторно либо утилизируют. От способа ввода комбинированного рукава в восстанавливаемый трубопровод зависит где должен находиться полиэтиленовый рукав либо внутри тканевой оболочки, либо снаружи.

4.4.1. Полиэтиленовый рукав снаружи тканевой оболочки

При вводе комбинированного рукава в восстанавливаемый трубопровод с выворотом полиэтиленовый рукав должен находиться снаружи. Для этого разработано два способа совмещения полиэтиленового рукава и тканевой оболочки.

В первом случае приобретается готовый полиэтиленовый рукав требуемых размеров с толщиной стенки 100–150 мкм и нанизывается на консольную трубу (рис. 4.13, 4.14) устройства для совмещения этого рукава с тканевой оболочкой (рис. 4.15, 4.16).

Установка для нанизывания полиэтиленового рукава включает стойку, на которой закреплена консоль из трубы со съемным конусообразным наконечником. Длина консоли выбирается из расчета нанизывания 25 м рукава на 1 м консоли, т. е., 100 пог. м полиэтиленового рукава нанизывается на консольную трубу длиной 4 м. Входной периметр съемного наконечника соответствует периметру окружности полиэтиленового рукава.

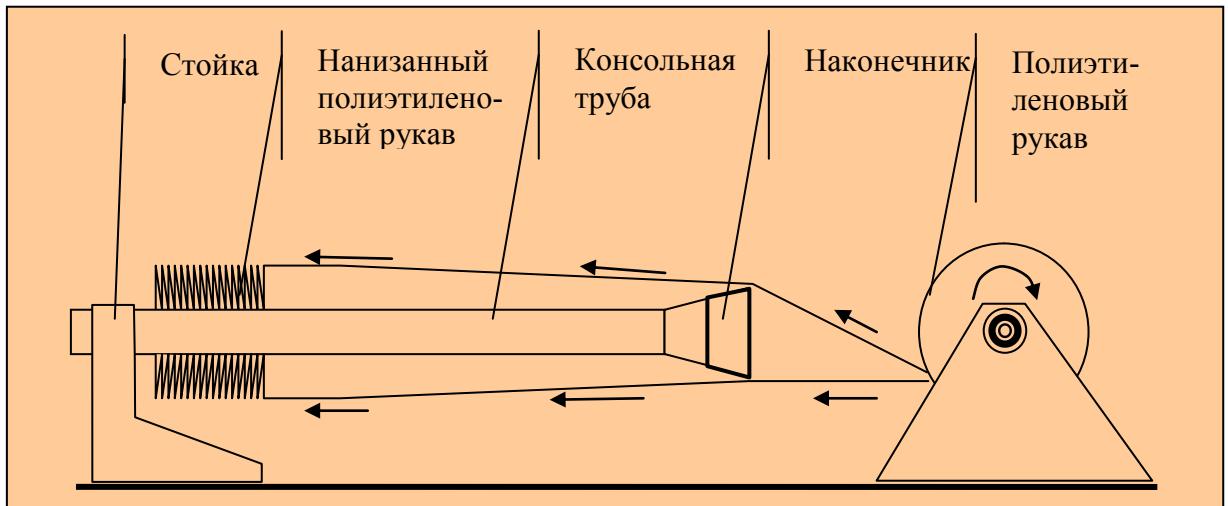


Рис. 4.13. Схема нанизывания полиэтиленового рукава на консоль



Рис. 4.14. Фрагменты нанизывания пленочного рукава на консольную трубу устройства для совмещения этого рукава с тканевой оболочкой

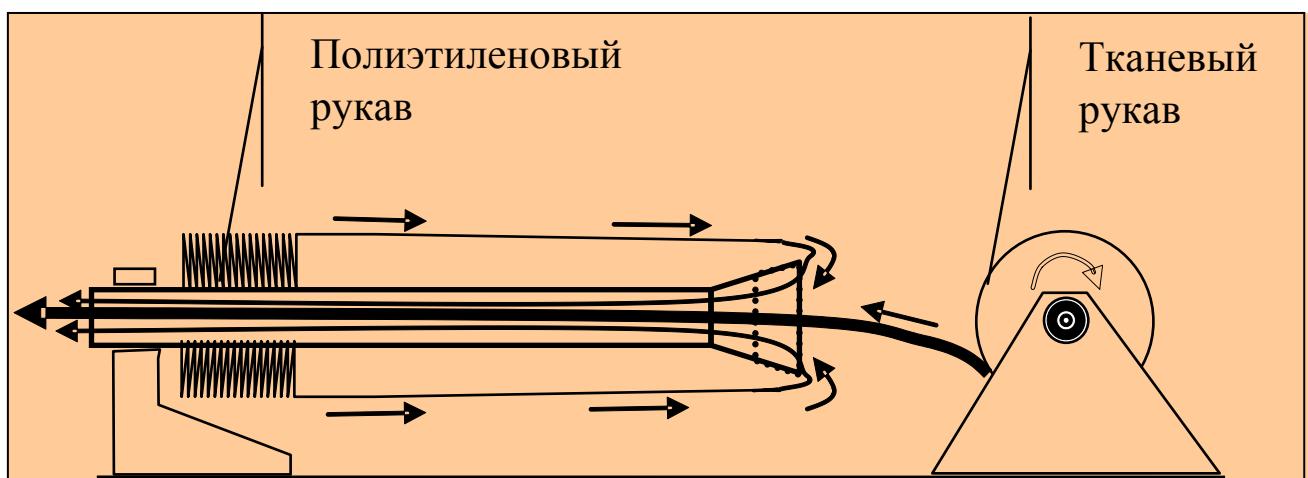


Рис. 4.15. Схема совмещение тканевой оболочки с полиэтиленовым рукавом (тканевый рукав внутри полиэтиленового рукава)



Рис. 4.16. Фрагменты совмещение тканевой оболочки с полиэтиленовым рукавом (тканевый рукав внутри полиэтиленового рукава)

Второй способ совмещения тканевой оболочки и полиэтиленового рукава осуществляется на специальной установке, включающей барабан для намотки тканевой оболочки, пропиточную ванну, крепеж для рулона полиэтиленовой пленки, воротник для сворачивания пленки в рукав с нахлестом, валки для совмещения оболочки и рукава, формирователь щели для спайки полиэтиленового рукава в месте нахлеста с использованием клиновидных ремней и электрофена (рис. 4.17).

С помощью данной установки можно изготавливать комбинированные рукава любой длины в полевых условиях с одновременной пропиткой тканевой оболочки полимерным составом и вводом комбинированного рукава в трубопровод с выворотом.

Способ заключается в том, что полиэтиленовый рукав изготавливается из полиэтиленовой пленки толщиной 100–150 мкм, шириной, равной сумме периметра поперечного сечения рукава и нахлеста, для спайки этого полотна в рукав ($\pi D + 100$ мм). Для этого конец пленочного полотна с рулона заводят на воротник и формируют в рукав с нахлестом. В середину полиэтиленовой оболочки пропускают пропитанный полимерным составом тканевый рукав. Концы совмещают и протаскивают через направляющие валки. Затем с помощью надвигающего устройства формирователя щели

верхний валок в месте нахлеста пленки обжимают двумя параллельными клиновидными ремнями, зафиксированными в треугольной конструкции шкивов. Полиэтилен сваривают горячим воздухом от электрофена, установленного над щелью.



Рис. 4.17. Установка для изготовления полиэтиленовой оболочки и совмещения её с тканевым рукавом (тканевый рукав внутри полиэтиленового)

Данная установка успешно прошла испытания при восстановлении трубопроводов в производственных условиях.

4.4.2. Полиэтиленовый рукав внутри тканевого рукава

При вводе комбинированного рукава в восстанавливаемый трубопровод без выворота полиэтиленовый рукав должен наход-

диться внутри тканевой оболочки. Авторами разработано четыре способа их совмещения.

1. Полиэтиленовый рукав, соответствующий внутреннему периметру восстанавливаемого трубопровода, закладывается внутрь тканевой оболочки при его изготовлении (см. изготовление спиральных бесшовных рукавов в п. 4.1.1).

2. Полиэтиленовый рукав вводят внутрь тканевой оболочки с выворотом под давлением воздуха.

Ввод полиэтиленового рукава с выворотом внутрь тканевой оболочки представлен на рис. 4.18.



Рис. 4.18. Фрагменты ввода полиэтиленового рукава внутрь тканевой оболочки путем выворота под давлением воздуха и намотка комбинированного рукава на барабан

Полиэтиленовый рукав может быть введен внутрь тканевого рукава с выворотом до его пропитки kleem и ввода в трубопровод либо после пропитки и ввода тканевого рукава в трубопровод.

3. Совмещение рукавов – по схеме на рис. 4.15, где вместо полиэтиленового рукава тканевый рукав нанизывается на консоль, а полиэтиленовый рукав вводится внутрь тканевой оболочки (см. п. 4.3.1).

4. Совмещение с помощью членока. Для этого к членоку закрепляют конец полиэтиленового рукава. Затем на членок нанизывают тканевую оболочку, после чего берутся за начало членока и тянут его вперед до расправления нанизанных складок ткани. При этом полиэтиленовый рукав втягивается внутрь тканевого рукава. Операции повторяются до протяжки полиэтиленового рукава на всю длину тканевой оболочки.

Все перечисленные способы совмещения тканевого и полиэтиленового рукавов (полиэтиленовый рукав внутри тканевой оболочки) апробированы нами в производственных условиях.

4.5. Телеинспекция трубопровода

Перед началом восстановительных работ необходимо произвести телеинспекцию подготовленного участка трубопровода для обнаружения дефектов, врезок, инородных предметов и оценки его готовности к вводу рукава.

Для этого через трубопровод пропускают отечественный самоходный робототехнический комплекс Р-100 (рис. 4.19) фирмы «Тарис» или с помощью каната протягивают самодельную тележку, оборудованную обычной видеокамерой и подсветкой.

По результатам визуального осмотра принимают решение о вводе комбинированного рукава в трубопровод.



Рис. 4.19. Робот Р-100 ЗАО «ТАРИС» для телеинспекции трубопроводов



Рис. 4.20. Телеинспекция трубопровода с помощью видеокамеры

Фрагмент протяжки тележки с видеокамерой через трубопровод Ду-700мм, после механической очистки скребками и промывкой водой, представлен на рис. 4.20.

4.6. Способы ввода комбинированного рукава в трубопровод

Схемы пропитки тканевой оболочки и совмещения с полиэтиленовым рукавом описаны соответственно в параграфах 4.3 и 4.4.

Приклеивать тканевую оболочку к внутренней поверхности трубопровода необходимо, на очищенную сухую поверхность при ее положительной температуре. Для этого после очистки и обеспыливания восстанавливаемого участка перед нанесением покрытия нужно продуть трубопровод горячим воздухом с применением высокопроизводительных калориферов в течение 6–20 ч. Эта операция не только исключит конденсат в трубопроводе, но и обеспечит ускорение процесса полимеризации эпоксидного состава за счет аккумуляции тепла стенками трубопровода и облегающего их грунта. Конденсация влаги из окружающего воздуха не происходит, если температура стенки трубы выше температуры точки «росы» на 3 °С. Конденсация влаги наиболее вероятна при работе в условиях отрицательных температур и повышенной влажности воздуха более 80 %.

Авторами разработано множество способов ввода рукавов в восстанавливаемый трубопровод, а также необходимых для этого оборудования и оснастки, основные из которых представлены в настоящем разделе.

Ввод рукава может осуществляться: с выворотом, за счет разности давлений воздуха (под вакуумом или давлением), или без выворота, путем протяжки тросом силовой лебедки.

4.6.1. Ввод рукава с выворотом под давлением

Исследования по отработке технологии ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом включали определение следующих параметров:

- 1) разность давлений воздуха при введении рукава в трубопровод;
- 2) оптимальная скорость введения рукава в трубопровод.

Исследования проводились на трубах диаметром от 100 до 800 мм.

Разность давлений воздуха при введении рукава в трубопровод зависит от сопротивления, создаваемого массой вводимого комбинированного рукава и сопротивлений в узлах пропитки, совмещения и его ввода:

$$F = \pi D \cdot (G_1 + G_2 + G_3) \cdot l_{\text{вв}} \cdot k + (F_1 + F_2 + F_3 + F_4), \quad (4.1)$$

где F – сопротивление вводу рукава в трубу, Н;

G_1 – вес тканевой оболочки, кг/м²;

G_2 – вес пропиточного состава, кг/м²;

G_3 – вес полиэтиленового рукава, кг/м²;

$l_{\text{кп}}$ – длина комбинированного рукава, м;

k – коэффициент трения скольжения полиэтилена по полиэтилену;

F_1 – сопротивление при пропитке, кг;

F_2 – сопротивление при совмещении рукавов, кг;

F_3 – сопротивление в затворе, кг;

F_4 – сопротивление при вывороте рукавов кг.

В результате лабораторных и опытно-производственных испытаний было установлено, что сумма сопротивлений F_1, F_2, F_3, F_4 в 13 раз превышает сопротивление, создаваемое массой вводимого рукава в трубопровод. В связи с этим формулу (4.1) запишем в следующем виде:

$$F = \pi D_{\text{вв}} \cdot (G_1 + G_2 + G_3) \cdot l_{\text{вв}} \cdot k \cdot 13. \quad (4.2)$$

Максимальная величина разности давлений воздуха p , требуемая для введения рукава в трубопровод с выворотом, рассчитывается по формуле

$$p = \frac{\pi D \cdot (G_1 + G_2 + G_3) \cdot 0,5l_{\text{вв}} \cdot k \cdot 13}{S} = \frac{0,5F}{S} . \quad (4.3)$$

Величина $0,5l_{\text{вв}}$ в формуле (4.3) соответствует половине длины рукава, так как рукав вводится в трубопровод с выворотом. При этом максимальное значение сопротивления ввода рукава будет на середине длины трубопровода.

Эмпирическим путем была получена упрощенная формула для расчета разности давлений воздуха, необходимого для ввода комбинированных рукавов в трубопровод с выворотом:

$$p = 6 / D \text{ (см)} \quad [\text{кг/см}^2]. \quad (4.4)$$

Данные по определению величины разности давлений воздуха для различных диаметров труб при введении комбинированного рукава в 100 метровый участок восстановляемого трубопровода представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2
Расчет величины разности давления воздуха для ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом
по формулам (4.3) или (4.4)

D, мм	S, см^2	Масса, $\text{кг}/\pi \cdot D \cdot 1\text{.п.м.}$			$L_{\text{вв}}$, п. м.	k	F, кг	p, $\text{кг}/\text{см}^2$
		G_1	G_2	G_3				
100	78,5	0,157	0,157	0,047	100	0,2	93,86	0,6
200	314	0,314	0,314	0,094	100	0,2	187,2	0,3
300	706,5	0,471	0,471	0,141	100	0,2	281,6	0,2
400	1256	0,628	0,628	0,188	100	0,2	288,8	0,15
500	1962,5	0,785	0,785	0,235	100	0,2	469,3	0,12
600	2826	0,942	0,942	0,282	100	0,2	563,16	0,1
700	3846,5	1,099	1,099	0,329	100	0,2	657	0,08
800	5024	1,256	1,256	0,376	100	0,2	750,9	0,07
900	6358,5	1,413	1,413	0,423	100	0,2	844,7	0,066
1000	7850	1,570	1,570	0,470	100	0,2	938,6	0,06

По данным табл. 4.2 видно, что с увеличением диаметра трубы разность давлений воздуха при вводе комбинированного рукава в трубопровод снижается. Однако для более качественного приклеивания рукава к внутренней стенке трубы величина разности давления воздуха должна быть не менее 0,01–0,03 МПа, что достигается за счет принудительного торможения, т.е. создания дополнительного сопротивления, а скорость введения зависит от производительности компрессора или вакуумного насоса.

Опытным путем установлено, что оптимальная скорость введения рукава в трубопровод составляет от 0,05 до 0,2 м/с.

Расчет расхода воздуха для ввода рукава с выворотом при заданной скорости можно выполнить по формуле

$$Q = v \cdot S = v \cdot \pi D^2 / 4, \quad (4.5)$$

где v – скорость ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом, м/ч.

На рис. 4.21 показана диаграмма по определению расхода воздуха для различных диаметров трубопроводов и скорости ввода в них рукавов.

С помощью этой диаграммы можно подобрать компрессор или вакуумный насос с соответствующей производительностью по расходу воздуха для восстанавливаемых трубопроводов диаметрами 100–1000 мм с определенной скоростью ввода комбинированных рукавов с выворотом.

На рис. 4.22 - 4.24 представлены схемы и фрагменты ввода комбинированного рукава в трубопровод через пневмозатвор. В первом случае (рис. 4.22) совмещение рукавов выполняется через консольную трубу, на которую нанизан полиэтиленовый рукав, во втором – (рис. 4.23) совмещение рукавов через воротник установки для изготовления комбинированного рукава. При этом пропитанный kleem тканевый рукав оказывается внутри полиэтиленового рукава.

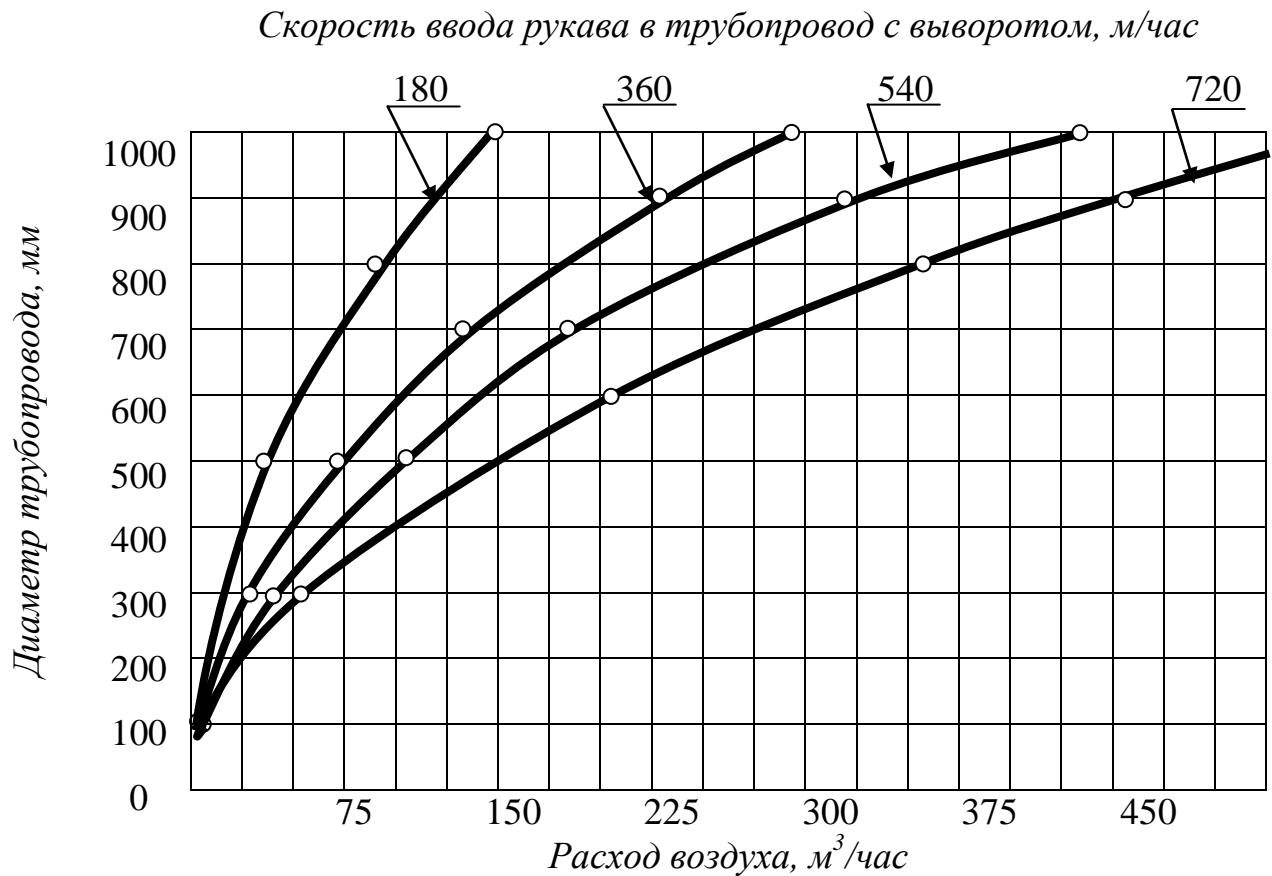


Рис. 4.21. Диаграмма по определению расхода воздуха для ввода рукавов в трубопровод с заданной скоростью при различных диаметрах труб

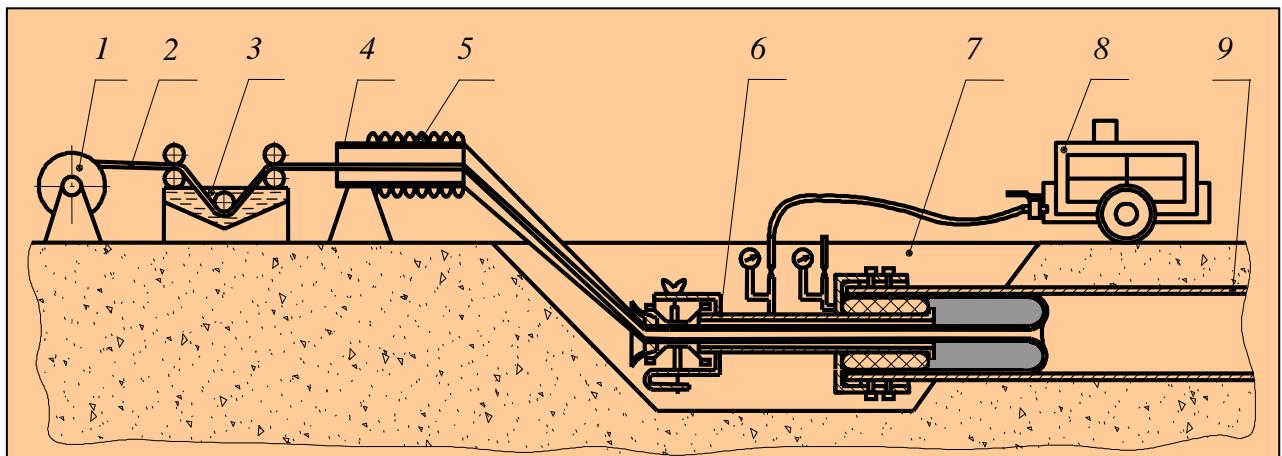


Рис. 4.22. Схема ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом под давлением через пневмозатвор :

1 – барабан; 2 – тканевая оболочка; 3 – ванна с kleem; 4 – консоль для изготовления комбинированного рукава; 5 – нанизанный плёночный рукав; 6 – пневмозатвор для герметизации ввода комбинированного рукава в трубопровод; 7 – приемник; 8 – компрессор; 9 – трубопровод

Выполняют работу по восстановлению трубопровода следующим образом: последовательности: тканевую оболочку, соответствующую внутреннему диаметру и длине восстанавливаемого трубопровода, пропускают через ванну с kleem, затем через устройство для изготовления комбинированного рукава. Длина тканевой оболочки должна соответствовать длине восстанавливаемого участка трубопровода, а полиэтиленового рукава – на 5–6 м больше для крепления натяжного каната и расправления конца тканевой оболочки.

Далее комбинированный рукав пропускают через вводное устройство, включающее пневмозатвор и заглушку с тором – уплотнителем, выворачивают его конец наизнанку и расправляют по периметру на внешней стороне тора-уплотнителя вводного устройства (рис. 2.4).

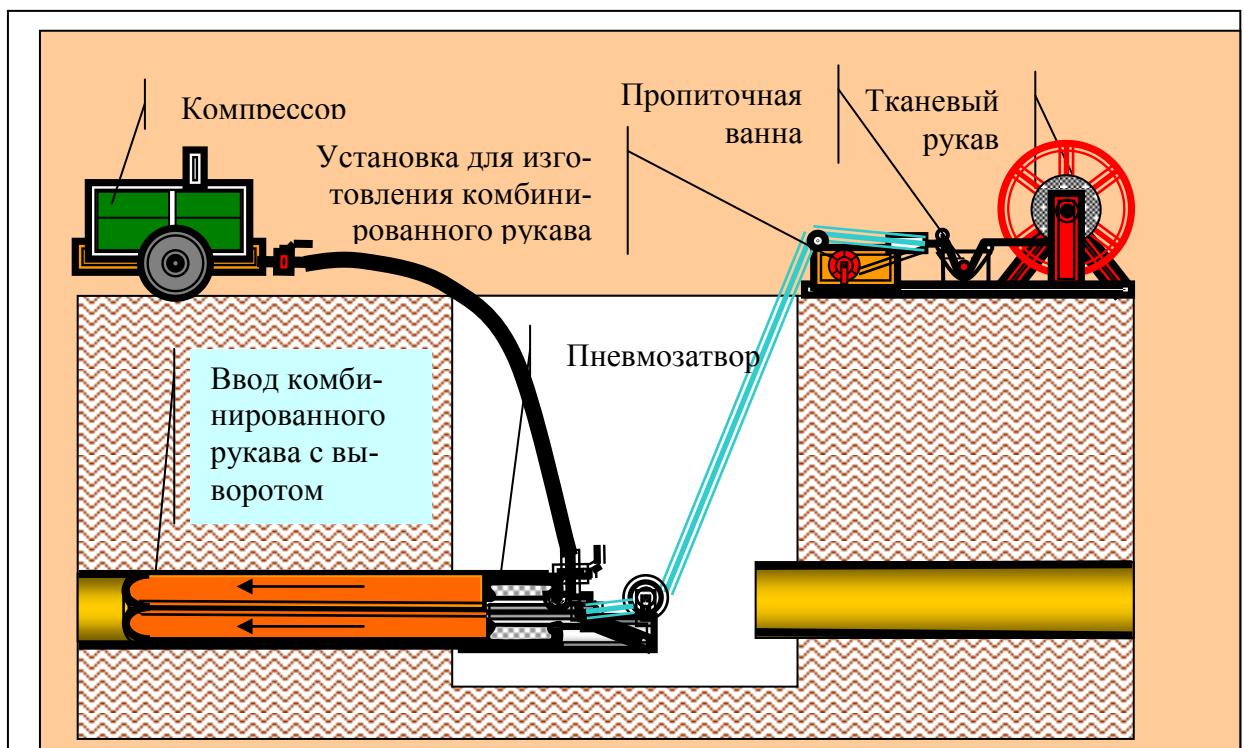


Рис. 4.23. Схема ввода комбинированного рукава в трубопровод через пневмозатвор

На рис. 4.24 представлены фрагменты ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом через пневмозатвор под давлением.



Рис. 4.24. Фрагменты ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом через пневмозатвор под давлением

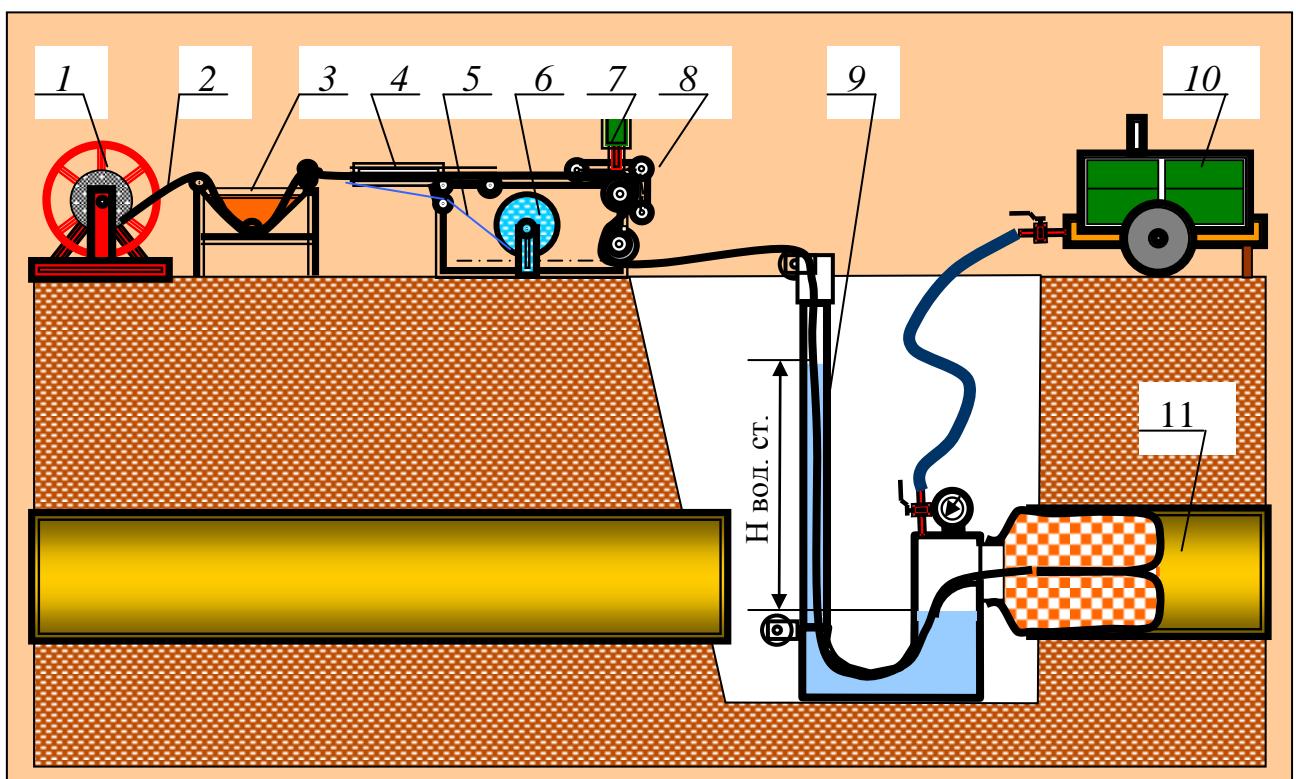


Рис. 4.25. Схема ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом под давлением через гидрозамок :

1 – барабан; 2 – тканевая оболочка; 3 – ванна с kleем; 4 – воротник для сворачивания пленочного полотнища в рукав с вводом в него пропитанной kle-

ем тканевой оболочки; 5 – пленочное полотнище; 6 – рулон с пленкой; 7 – электрофен; 8 – приспособление для прижима нахлеста пленки и формирования щели для ее спайки; 9 – гидрозамок; 10 – компрессор; 11 – трубопровод

Затем вводное устройство вставляют в начало трубопровода и накачивают тор-уплотнитель сжатым воздухом до 0,15 МПа с целью прижатия концов рукава к внутренней стенке трубы и герметизации входа в трубопровод.

После подачи сжатого воздуха от компрессора комбинированный рукав с выворотом входит в трубопровод и прижимается к его внутренней поверхности.

На рис. 4.25 представлена схема ввода комбинированного рукава в трубопровод через гидрозамок. Ввод комбинированного рукава в трубопровод через гидрозамок более предпочтителен, так как, в отличие от пневмозатвора, снижает сопротивление при вводе и уменьшает отжим клея из тканевой оболочки. Но из конструктивных соображений гидрозамок рекомендуется применять при восстановлении трубопроводов больших диаметров, где высота водяного столба, например для труб диаметром более 400 мм, составляет всего 1,5 м, а для труб диаметром 100 мм высота столба воды должна быть не менее 6 метров (табл. 4.2), что приведет к увеличению габаритов этого устройства.

4.6.2. Ввод комбинированного рукава с выворотом под вакуумом

Ввод комбинированного рукава под вакуумом исключает применение затворов на входе, что упрощает схему ввода рукава и снижает сопротивление вводу. Схема ввода комбинированного ру-

кава в трубопровод с выворотом под вакуумом показана на рис. 4.26.

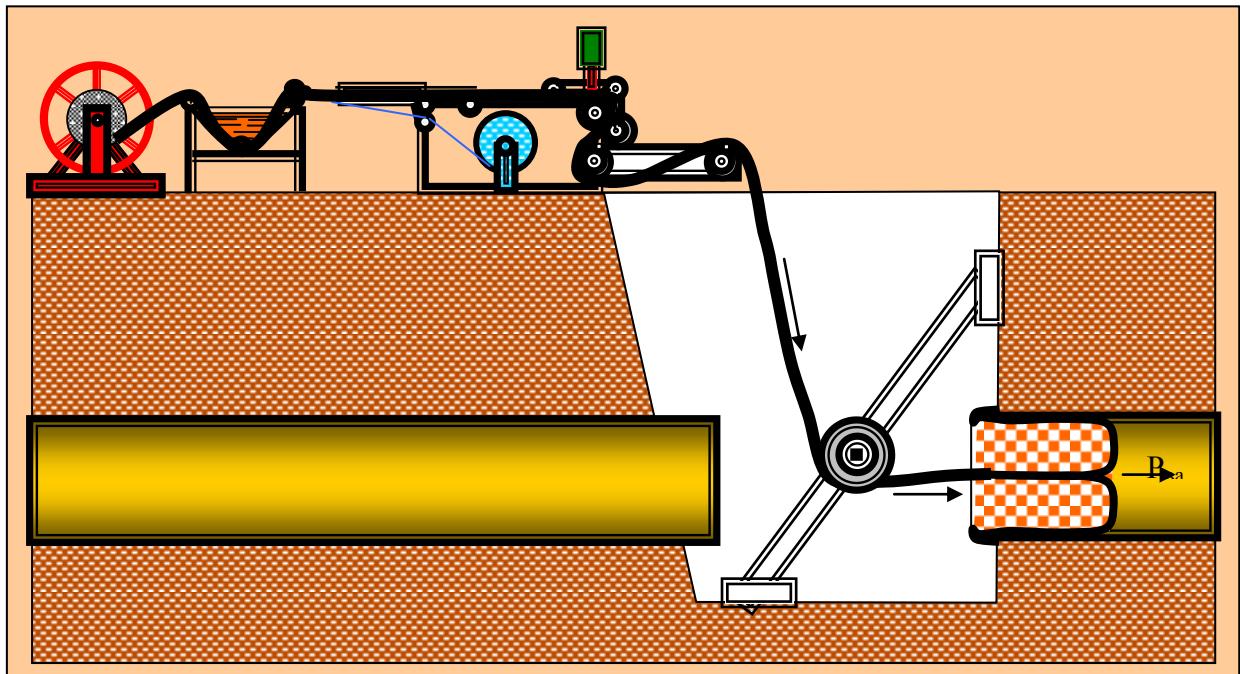


Рис. 4.26. Схема ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом под вакуумом

Технология ввода рукавов под вакуумом включает операции пропитки и их совмещения, аналогичные при вводе под давлением, описанные в параграфах 4.3 и 4.4. Перед вводом конец комбинированного рукава пропускают через направляющий ролик, на тканевой оболочке делают надрез и натягивают на начало трубопровода, поверх него натягивают полиэтиленовый рукав и герметизируют. С другого конца трубопровода создают вакуум. Величина вакуума для различных диаметров труб соответствует расчетным данным, представленным в табл. 4.2 со знаком минус.

Скорость ввода рукава регулируется расходом воздуха вакуумного насоса согласно диаграмме на рис. 4.21.

Данный способ менее трудоемкий. Создание вакуума обеспечивает удаление воздуха на контакте приклеиваемой оболочки с

внутренней стенкой трубопровода, что исключает образование пузырей и повышает качество защитного покрытия.



Рис 4.27. Фотофрагмент ввода комбинированного рукава в трубопровод с выворотом под вакуумом

На рис. 4.27 представлен фрагмент ввода рукава под вакуумом при восстановлении водопровода $D_y = 219$ мм в г. Дивногорске.

4.6.3. Ввод рукава без выворота

Ввод рукава без выворота с помощью троса от лебедки, включает предварительную или одновременную с вводом пропитку комбинированного рукава полимерным составом. Способы пропитки рукавов изложены в параграфе 4.3.

На рис. 4.28 представлены фрагменты восстановления железобетонного трубопровода $D_u = 800$ мм в г. Канске и стального трубопровода $D_u = 700$ мм на Есаульской оросительной системе.



Рис. 4.28. Фрагменты ввода комбинированного рукава в трубопровод без выворота с одновременной пропиткой рукава полимерным составом

При вводе комбинированного рукава без выворота полиэтиленовый рукав должен находиться внутри тканевой оболочки. Способы совмещения рукава и оболочки см. в параграфе 4.4.

На станции Красноярск-Восточный апробирована схема ввода в трубопровод сначала пропитанной kleem тканевой оболочки без выворота, с помощью троса от лебедки (рис. 4.29), а затем внутрь ее полиэтиленового рукава с выворотом за счет разности давления воздуха (рис. 4.30).

При вводе полиэтиленового рукава расправляется и прижимается пропитанная тканевая оболочка к внутренней стенке трубопровода.



Рис. 4.29. Ввод комбинированного рукава без выворота с предварительной пропиткой тканевой оболочки полимерным составом



Рис. 4.30. Фрагменты ввода полиэтиленового рукава с выворотом внутрь тканевой оболочки при восстановлении трубопровода

Данным методом было восстановлено более тысячи метров трубопроводов заправочных колонок $D_y = 150$ мм на станции Красноярск-Восточный.

При выборе лебедки для производства этих видов работ должны учитываться следующие характеристики:

- 1) канатоемкость барабана должна быть не менее 200 м;
- 2) скорость ввода рукава без выворота – не более 0,15 м/с;
- 3) тяговое усилие, создаваемое лебедкой – не менее 1,5 т.

Кроме указанных требований, лебедку необходимо оборудовать тросоукладчиком и переносным пультом управления.

4.6.4. Ввод рукава с использованием торов-разделителей

Для введения, перемещения и прижатия оклеенного рукава к внутренней поверхности трубопровода могут использоваться два тора (рис. 4.31, 4.32).

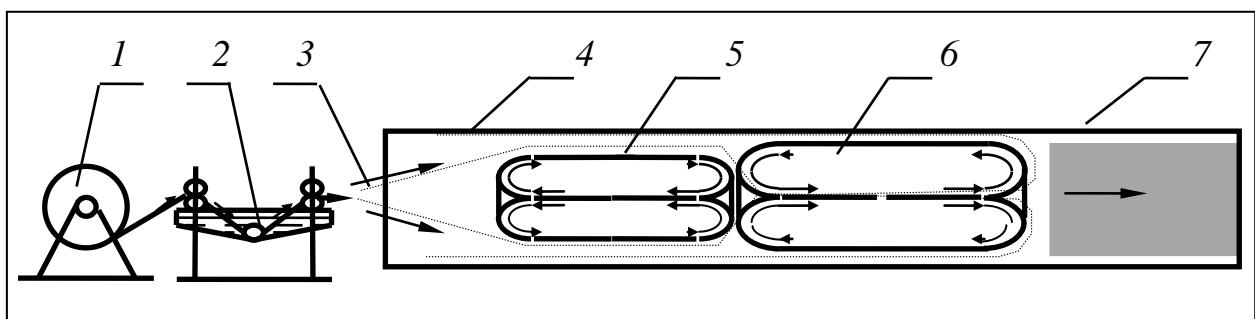


Рис. 4.31. Схема оклеечной изоляции внутренней поверхности трубы под вакуумом с применением торов-разделителей :

1 – тканевая оболочка; 2 – пропиточная ванна с kleem; 3 – пропитанная kleem тканевая оболочка; 4 – оклеенный участок трубы; 5 и 6 – торы-разделители.; 7 – изолируемая труба

Один тор с наружным диаметром, меньшим внутреннего диаметра трубопровода, расправляет оболочку, а идущий впереди другой тор с наружным диаметром, равным внутреннему диаметру трубопровода, протягивает и прикатывает рукав к внутренней поверхности трубопровода.

Наружный диаметр тора, расправляющего тканевую оболочку D_{tp} , определяют по формуле

$$D_{\text{tp}} = D - 2b, \quad (4.6)$$

где D – диаметр, м; b – зазор между расправляющим оболочку тором и трубопроводом, м.

Технология оклеечной изоляции с применением торов-разделителей следующая. Тканевую оболочку 1 пропускают через пропиточную ванну с kleящим составом 2, установленную перед началом трубопровода 7. Учитывая, что ткань является воздухопроницаемой, то на момент введения и оклеивания внутренней поверхности трубопровода используют два тора-разделителя – 5 и 6. Один тор-разделитель меньшего диаметра 5 служит для расправления рукава до диаметра, близкого к диаметру трубопровода, а другой 6 – для герметичного перекрытия поперечного сечения трубопровода, протяжки и прикатывания ткани к его поверхности. Для этого сначала тор-разделитель 5 помещают внутрь тканевой оболочки, затем конец ее пропускают через середину тора-разделителя 6, выворачивают наизнанку и надевают на тор-разделитель 6, который затем вставляют в начало трубопровода 7. При создании вакуума с противоположного конца трубопровода тор-разделитель 6 с выворотом втягивает и прикатывает пропитанную kleem тканевую оболочку к внутренней поверхности трубопровода 7.

Оклеечную изоляцию под давлением с применением двух торов-разделителей выполняют по схеме на рис. 4.32.

Данный метод оклеечной изоляции рекомендуется применять на изолируемых участках трубопроводов, где невозможно создание вакуума из-за наличия сквозных отверстий или трещин в стенках труб, образовавшихся в результате коррозии или аварий на трубопроводе.

В отличие от предыдущей технологии, при оклеечной изоляции под давлением тканевый рукав сначала пропитывают kleem и наматывают на бобину рабочей камеры 1. Затем тканевую оболочку пропускают через соединительную муфту 6. В середину тканевой

оболочки вставляют тор-разделитель малого диаметра 8 и ее конец пропускают через середину тора-разделителя 9 с последующим выворотом конца оболочки наизнанку с размещением его сверху тора-разделителя 9 и введением в начало изолируемого трубопровода 10.

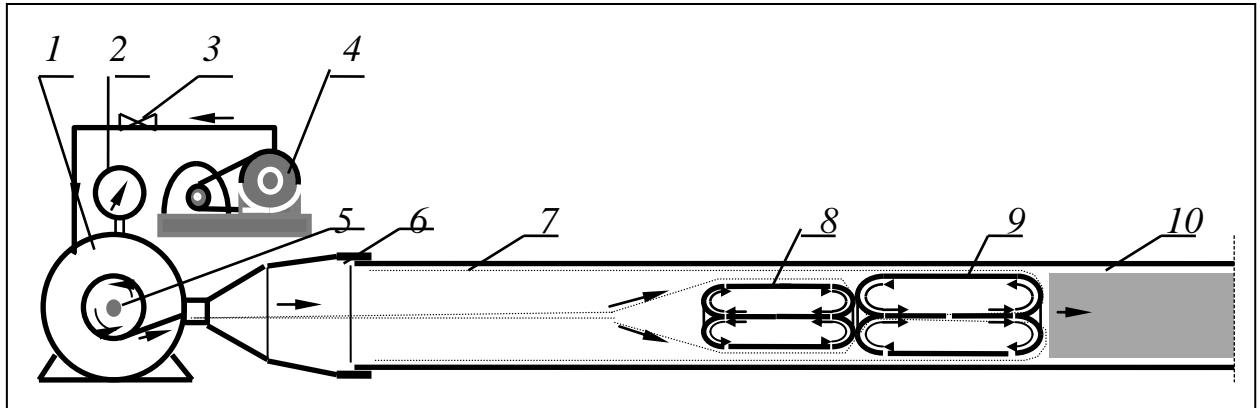


Рис. 4.32. Оклеечная изоляция внутренней поверхности трубы под давлением с применением торов-разделителей :

1 – рабочая камера; 2 – манометр; 3. – клапан; 4 – компрессор; 5 – пропитанная kleem тканевая оболочка; 6 – соединительная муфта; 7 – оклеенный участок трубы; 8 и 9 – торы-разделители; 10 – изолируемый трубопровод

Оклевивание внутренней поверхности трубопровода под давлением производят в приводимой далее последовательности. После герметизации соединительной муфты 6 с рабочей камерой 1 и началом изолируемого трубопровода 10 включают компрессор 4 и подают сжатый воздух через клапан 3 в рабочую камеру 1 для перемещения тора-разделителя 9, который, в свою очередь, обеспечивает протяжку и приклейку пропитанной kleem тканевой оболочки к внутренней поверхности трубопровода. Наличие тора 8 малого диаметра обусловлено тем, что он формирует рукав, близкий к диаметру изолируемого трубопровода, и исключает образование складок на оболочке при ее протяжке и приклеивании тором-разделителем 9.

Технологии, показанные на рис. 4.31 и 4.32, после испытаний дальнейшего применения не нашли из-за сложности технологического процесса.

4.7. Способы приклеивания тканевой оболочки к внутренней стенке трубопровода

Приклеивание пропитанной kleem тканевой оболочки к внутренней поверхности трубопровода может осуществляться под давлением, создаваемым внутри полиэтиленового рукава, или под вакуумом, создаваемым между внутренней стенкой трубопровода и внешней стороной полиэтиленового рукава.

При вводе комбинированного рукава с выворотом его расправление и прижатие к внутренней стенке восстановляемого трубопровода происходит в процессе ввода в трубопровод. Перед вводом комбинированного рукава с выворотом под давлением (параметр 4.5) на противоположном конце трубопровода закрепляют мешок из прочной воздухопроницаемой ткани, для остановки дальнейшего продвижения оклеенного рукава и последующей выдержки его под давлением на период полимеризации kleя.

Фрагменты выдержки введенного рукава под давлением представлены на рис. 4.33. Время выдержки под давлением или вакуумом введенного рукава в прогретый трубопровод составляет от 8 до 12 ч. Для ускорения процесса полимеризации пропиточного эпоксидного состава, кроме известного энергозатратного и трудоемкого метода выдержки рукава под давлением пара, разработана схема одновременного прижатия и продувки введенного рукава горячим воздухом (рис. 4.34).

Оклеивание внутренней поверхности трубопровода рукавным покрытием под вакуумом с одновременным прогревом горячим воздухом осуществляют следующим образом.

После ввода комбинированного рукава в трубопровод один конец полиэтиленового рукава выворачивают наизнанку и герметизируют по периметру трубы со стороны подачи горячего воздуха, а другой конец рукава размещают внутри трубопровода и закрепляют на заглушке, состоящей из тора-уплотнителя, камеры отсоса воздуха и прохода для горячего воздушного потока. При этом пропитанный полимерным kleящим составом тканевый рукав располагается внутри между стенкой трубопровода и полиэтиленовым рукавом.



Рис. 4.33. Фрагменты выдержки введенного рукава под давлением

Вакуум, кроме прижатия рукава к внутренней стенке трубопровода, обеспечивает отсос газов, выделяемых в процессе полимеризации пропиточного состава, что исключает образование вздутий и

«пузырей» в покрытии.

Применение данного метода позволит получать более качественные покрытия.

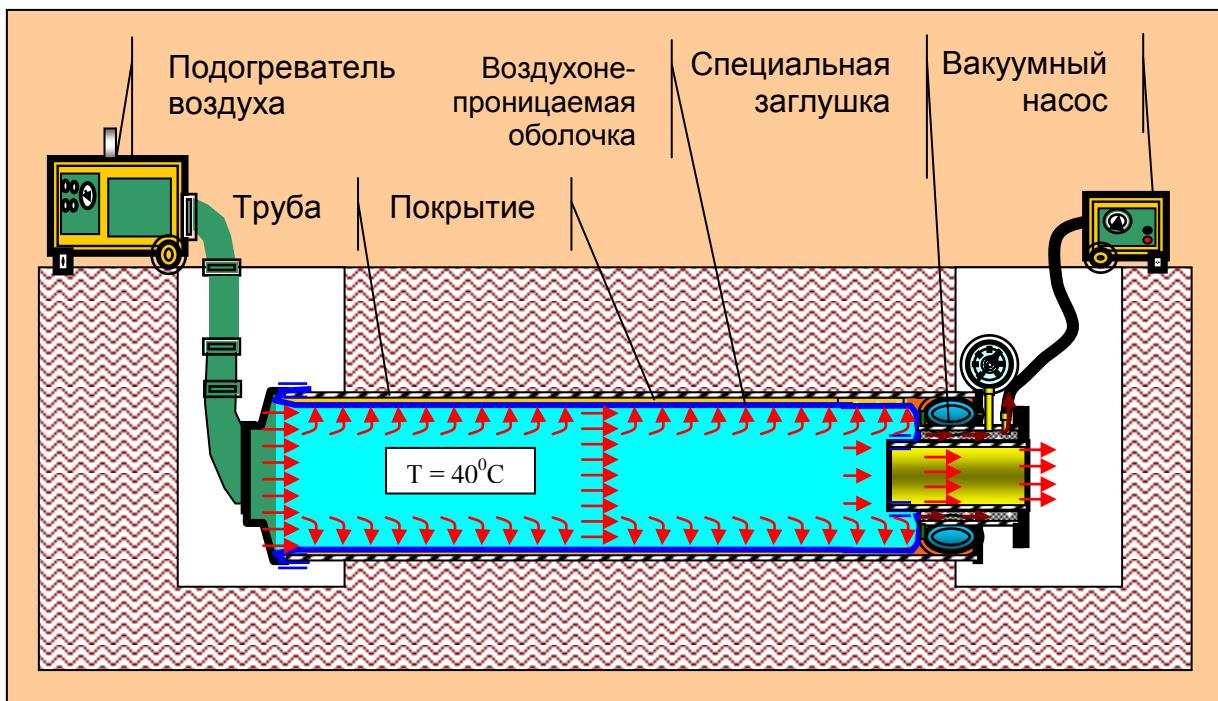


Рис. 4.34. Схема оклеивания внутренней поверхности трубопровода под вакуумом с одновременным прогревом горячим воздухом

После отверждения полимерного клеящего состава и приклеивания тканевой оболочки к внутренней поверхности восстановленного трубопровода полиэтиленовый рукав с выворотом вытягивается в начало трубопровода, сматывается в рулон и хранится до следующего использования либо утилизируется.

Заключительным этапом работ является телемониторинг восстановленного участка трубопровода. При визуальном осмотре поверхность покрытия должна иметь сплошную глянцевую поверхность без вздутий и пузырей.

4.8. Способыстыковки восстановленных трубопроводов

Стыковка восстановленных участков трубопроводов может выполняться сварочным или бесварочным методами.

4.8.1. Сварочный способ соединения труб

В первом случае пристыковке может использоваться вырезанная катушка. Учитывая, что рукавные покрытия являются горючим материалом, необходимо перед сваркой произвести обрезку концов рукава по периметру трубы на глубину не менее 0,15 м от края. Для этого с помощью режущего инструмента производят надрез рукава по всему периметру и очистку концов труб от полимера (рис. 4.35).



Рис. 4.35. Очистка концов восстановленных труб под сварку

После этого старую очищенную катушку устанавливают на место и сваривают с восстановленными участками трубопровода. После выполнения сварочных работ оклеивают весь неизолированный участок многослойным рукавом с нахлестом на оклеенные трубы. Для этого используют тор-разделитель (рис. 2.1.) или пакер фирмы «Тарис» (рис. 4.36), оборудованный двумя парами колес с каждой стороны, на который в сжатом его состоянии сначала надевают полиэтиленовый рукав, соответствующий внутреннему периметру трубопровода, затем наматывают ткань, пропитанную полимерным kleящим составом, шириной не менее трех периметров трубопровода. Подготовленное устройство доставляется к месту вваренной катушки и под действием давления, подаваемого по шлангам, производят его раздув. При этом происходит сдвигка слоев пропитанной kleем ткани до контакта с трубой. После полимеризации kleя давление воздуха в пакере сбрасывается, и он вместе с полиэтиленовым рукавом извлекается из трубопровода.

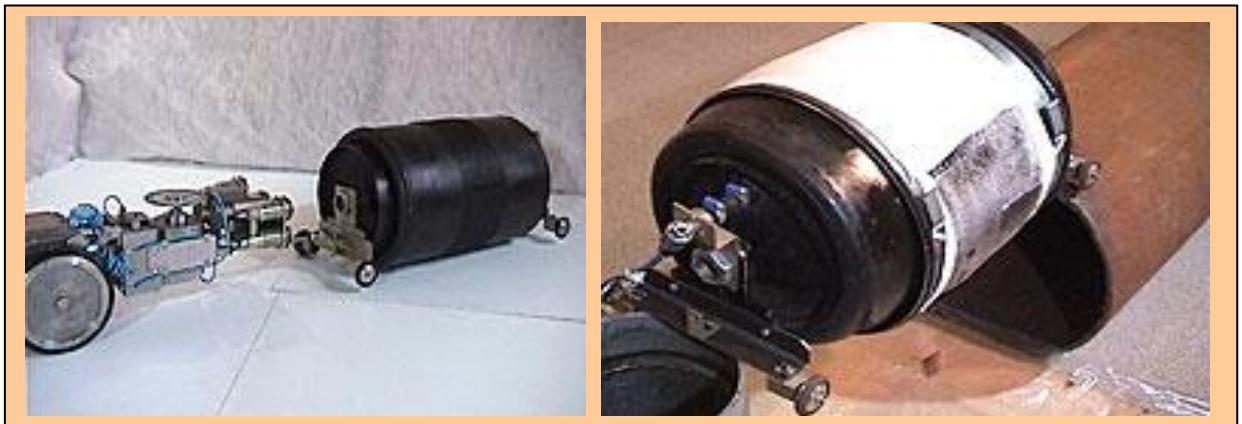


Рис. 4.36. Пакеры «Тарис» для локального ремонта трубопроводов

Другой сварочный способстыковки труб представлен на рис. 4.37. В данном случае, перед восстановлением трубопровода, на концыстыкуемых труб (1) приваривают кольца (2) из новой трубы по 0,25 м, половина длины которых вместе со сварным швом (4) оклеивается в процессе восстановительных работ.

Для усиления концов оклеенных рукавов устанавливают дополнительные внутренние бандажи, состоящие из полосы ткани шириной 30 – 40 см и длиной, соответствующей трем периметрам восстановляемой трубы. Ткань пропитывают полимерным составом и наматывают в виде спирали на торовую заглушку (рис.2.4) или на пакер (рис.4.36), предварительно обернутых полиэтиленовой пленкой, вставляют их в трубу с нахлестом бандажа на рукав и раскачивают воздухом до давления 0,1–0,2 МПа. При этом спираль из ткани раскручивается за счет сдвигки ее слоев и плотно прижимается к внутренней поверхности по периметру трубы. После полимеризации клея торовую заглушку удаляют.

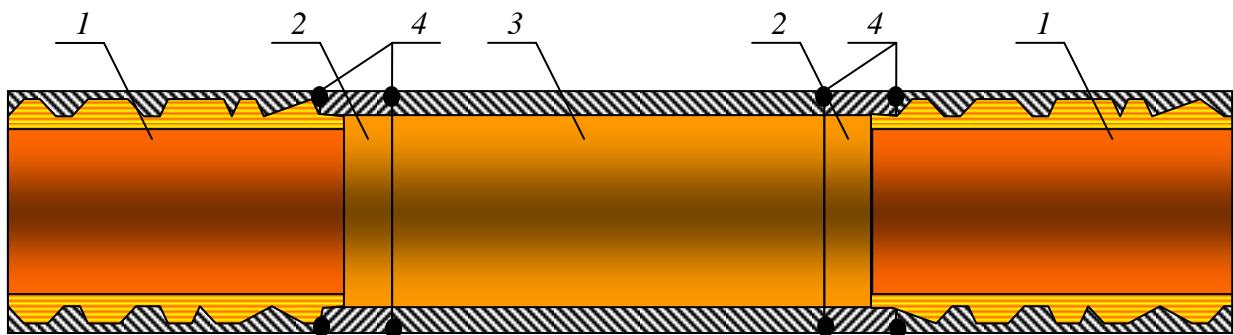


Рис. 4.37. Сварочный способ соединения труб :

1 – восстановленные участки трубопровода; 2 – кольца из новой трубы;
3 – катушка из новой трубы; 4 – сварные швы

Перед установкой новой катушки необходимо очистить полость концов труб от покрытия на глубину до 0,15 м. После этого произвести стыковку и сварку труб.

4.8.2. Бессварочный способ соединения труб

Разработанный авторами бессварочный метод соединения труб (рис. 4.38) состоит в том, что на очищенные концы восстановленных трубопроводов и оклеенной катушки наматываются много-

слойные бандажи из полиамидной ткани, пропитанной полимерным kleящим составом.

При этом половина ширины бандажа с выворотом наизнанку вводится внутрь трубы и прижимается к внутренней оклеенной стенке с помощью тора-уплотнителя.

После полимеризации пропиточного состава торы уплотнители извлекаются, катушка вставляется между концами восстановленных участков трубопровода истыкуется наружными бандажами из капроновой ткани (не менее трех слоев), пропитанными полимерным составом.

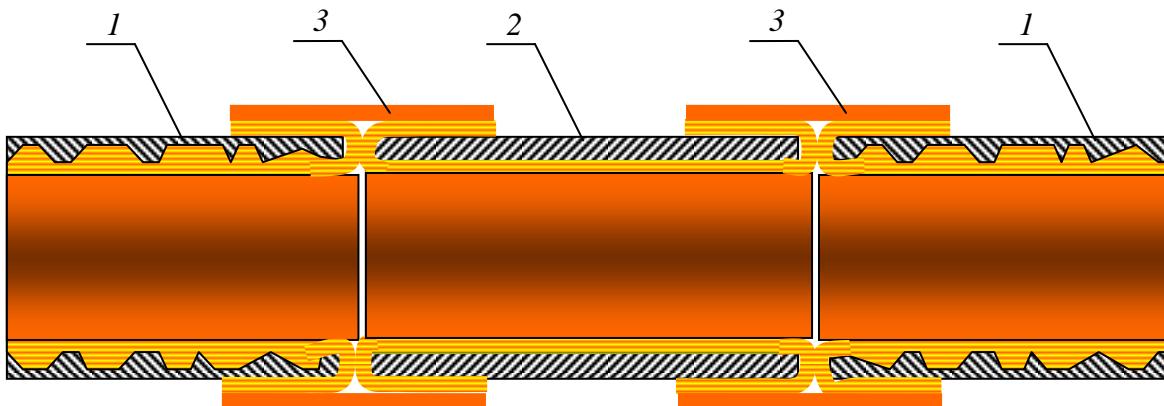


Рис. 4.38. Бессварочный способстыковки восстановленных участков трубопровода :

1 – восстановленный участок; 2 – катушка; 3 – бандаж

Для высоконапорных трубопроводов рекомендуется поверх сделанных бандажей установить дополнительную обойму из трубы большего диаметра с люком для заливки полимерного состава (рис. 4.39). Последняя схемастыковки обладает повышенной прочностью и может выдерживать нагрузки как изнутри, так и снаружи от воздействия грунта.

Бессварочный способ соединения труб решает одновременно проблему внутренней изоляциистыков, повышает надежность работы защитного полимерного покрытия, исключая возможность от-

рыва рукава и проникновения транспортируемой среды под покрытие к контакту с трубой.

При бесварочном методестыковки можно использовать как новую, так и старую вырезанную катушку.

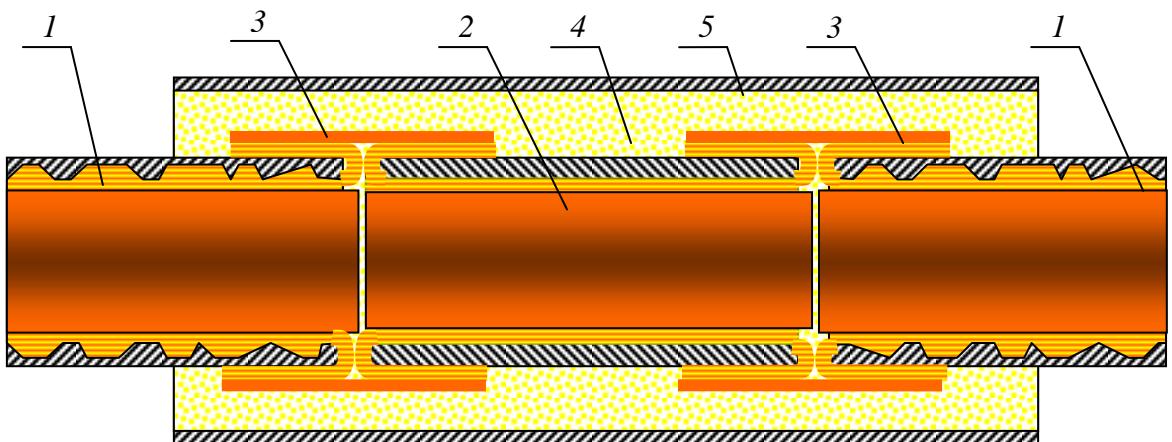


Рис. 4.39. Бесварочный способстыковки восстановленных труб для высоконапорных трубопроводов :

1 – восстановленный участок трубопровода; 2 – катушка; 3 – бандаж; 4 – опалубка; 5 – полимерцементный состав

Предложенный метод позволяет соединять участки трубопровода из любых материалов (стали, чугуна, железобетона, асбеста, керамики и т. д.).

4.9. Сравнение сметной стоимости восстановления трубопроводов по методам «Феникс» и «СибНИИГиМ»

Трубопроводы, восстанавливаемые методом СибНИИГиМ, по физико-механическим показателям и долговечности не уступают известным зарубежным аналогам.

Эффективность разработанных отечественных технологий и оборудования обоснована их внедрением в производство при бесструнштном ремонте трубопроводов диаметром от 150 до 800мм.

Расчетами установлено, а внедрением выполненных разработок подтверждено, что себестоимость ремонта трубопроводов, выполненных бестраншейным методом с использованием созданных отечественных технологий и оборудования, в 3–6 раз ниже существующих аналогов.

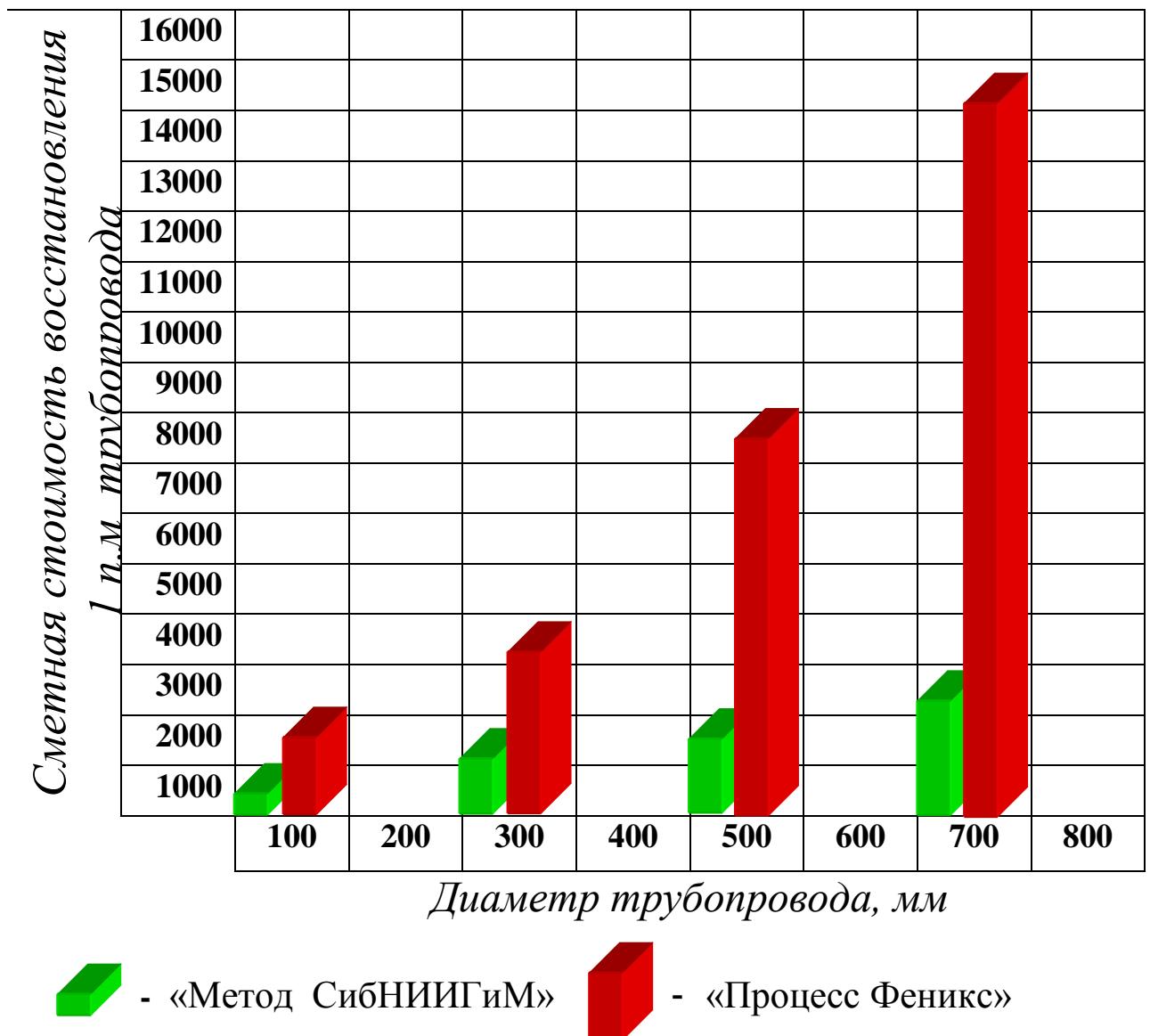


Рис. 4.40. Сметная стоимость восстановления трубопроводов по методам «СибНИИГиМ» и «Феникс»

Сравнительная сметная стоимость восстановления трубопроводов по методам «Феникс» и «СибНИИГиМ» в ценах ФЕР 2001 года представлена на диаграмме (рис. 4.40).

4.10. Внедрение отечественной бестраншейной технологии

Внедрение отечественной бестраншейной технологии восстановления трубопроводов диаметром 700 мм по методу СибНИИГиМ включено в Федеральную программу "Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 - 2010 годы и на период до 2012 года («Реконструкция Есаульской оросительной системы Берёзовского района Красноярского края (1 очередь, 1 пусковой комплекс)». Объекты и объемы внедрения отечественной бестраншейной технологий восстановления трубопроводов представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Внедрение отечественной бестраншейной технологии

№ п/п	Наименование объекта	Трубопровод	
		Диаметр, мм	Длина, пог. м
1.	Магистральные трубопроводы на Есаульской оросительной системе Емельяновского района, Красноярского края	300	640
		700	436
2.	Водопроводы в г. Дивногорске	219	400
		159	200
3.	Водопровод в аэропорту Домодедово Московская обл., под взлетной полосой, без остановки полетов самолетов.	273	60
4.	Водопровод в г. Канске	800	160

5.	Водопровод в г. Саяногорске под автомобильной дорогой, без остановки движения автотранспорта.	300	70
6.	Технологические водопроводы на станции Красноярск-Восточный, без остановки движения поездов.	159	1500

Выводы по главе 4

1. В результате исследований разработаны следующие отечественные беспрецедентные способы и технологии:

1.1. Технологии изготовления тканевых рукавов для восстановления трубопроводов:

- спиральных бесшовных рукавов;
- одношовных рукавов с нахлестом;
- одношовных рукавов без нахлеста;
- двухшовных рукавов.

1.2. Способы пропитки тканевых рукавных оболочек полимерным kleящим составом:

- внешняя пропитка;
- внутренняя пропитка.

1.3. Способы совмещения тканевой оболочки и полиэтиленового рукава:

- полиэтиленовый рукав снаружи тканевого рукава;
- полиэтиленовый рукав внутри тканевого рукава.

1.4. Технологии комбинированного рукава в трубопровод:

- с выворотом под давлением;
- с выворотом под вакуумом;
- без выворота;
- с использованием торов-разделителей.

1.5. Способы приkleивания тканевой оболочки к внутренней стенке трубопровода.

1.6. Способыстыковки восстановленных участков трубопроводов:

- сварочный;
- бесварочный.

2. Эффективность разработанных технологий и оборудования обоснована их внедрением в производство при бестраншейном ремонте трубопроводов.

3. Расчетами установлено, а внедрением выполненных разработок подтверждено, что себестоимость ремонта трубопроводов, выполненных бестраншейным методом с использованием созданных отечественных технологий и оборудования в 3 – 6 раз ниже существующих аналогов.

4. Все технологические операции выполняются с применением отечественного оборудования и материалов.

5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

При выполнении восстановительных работ необходимо соблюдать правильность и последовательность проведения технологических операций. Контролирует восстановительные работы ответственный исполнитель.

Производственный контроль качества работ должен осуществляться на всех этапах подготовки и выполнения антикоррозионных и восстановительных работ.

При входном контроле проверяют наличие и комплектность рабочей документации, соответствие материалов государственным стандартам и техническим условиям.

В специальном журнале пооперационного контроля должны регистрироваться:

- дата проведения работ;
- температура и влажность в трубопроводе и окружающей среде;
- состояние внутренней поверхности трубопровода перед нанесением покрытий;
- продолжительность восстановительных работ;
- фактическая продолжительность и температурный режим выдержки покрытия после нанесения покрытия;
- отметки о дефектах.

Контроль качества работ включает:

- определение качества подготовки внутренней поверхности трубопровода (телеинспекцию);

- контроль качества применяемых материалов, их соответствие ТУ и ГОСТам. Применяемые материалы должны иметь санитарно-гигиенический сертификат на их безопасное применение в зависимости от назначения ремонтируемых трубопроводов или входить в

«Перечень материалов и реагентов, разрешенных ГК СЭН РФ к применению в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения» (утв. 23.10.1992 г. № 01-19/32-11 и допущенных к применению письмом ЦГ СЭН Красноярского края № 52 от 02.03.1992 г.);

контроль последовательности технологических операций;

контроль качества нанесенного покрытия на внутреннюю поверхность трубопровода (телеинспекцию).

Все работы выполняются строительной организацией под техническим надзором со стороны заказчика и проектной организации.

Выполнение работ по всем технологическим процессам фиксируется в актах на скрытые работы, которые предъявляются при сдаче объекта приемочной комиссии.

При операционном контроле проверяют подготовку внутренней поверхности трубопроводов (качество очистки, температуру и влажность), вязкость полимерного состава и качество пропитки тканевого рукава.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Комплекс оборудования включает вновь изготавливаемое и готовое (покупное) оборудование представленное в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Перечень оборудования и оснастки для производства работ

№ п/п	Наименование	Тип, ГОСТ, марка	Кол - во	Техническая характеристи- ка
1	Автомобиль грузопас- сажирский	"ГАЗЕЛЬ"	1	Для перевозки людей и груза
2	Автомобиль бортовой с гидроманипулято- ром	ЗИЛ	1	Для перевозки материалов и буксировки прицепа
3	Автоприцеп (фургон)	ГКБ-819	1	Для размещения оборудова- ния и оснастки
4	Электростанция	АБ-16	1	$N = 16$ кВт, 380 В, 50 Гц
5	Электроагрегат	«Вепрь»	1	$N = 6$ кВт, 380 В, 50 Гц
6	Растворомешалка	СБ-133М	1	Емк. = 100 л
7	Насос	1,5К-6	1	$Q = 16$ л/мин
8	Компрессор	ПКС-5-25	1	$Q = 300$ м ³ /ч
9	Лебедка силовая	2,5 т	2	Электрическая, 380 В, 50 Гц.
10	Лебедка технологи- ческая электрическая	0,5 т	1	Электрическая, 380 В, 50 Гц.
11	Лебедка технологи- ческая ручная	0,5 т	1	Ручная
12	Устройство для про- тяжки первичного троса	УЗК	1	Из стеклопластикового прут- ка диаметром 10 мм – 150 м.
13*	Устройства ввода очистных снарядов	СибНИИГиМ	2	
14*	Снаряд для очистки труб	«Дорком- техника»	4	Скребки и поршни
15	Снаряд для очистки труб	« Maloney»	4	Щетки

Продолжение табл. 6.1

№ п/п	Наименование	Тип, ГОСТ, марка	Кол- во	Техническая характери- стика
16	Подогреватель воздуха	8Г27К	2	Воздуходувка для сушки труб
17*	Консоль	СибНИИГиМ	2	Для нанизывания полиэтиленового рукава
18*	Барабан	СибНИИГиМ	2	Для комбинированного рукава
19*	Пропиточная ванна	«СибНИИ-ГиМ»	1	Для пропитки тканевой оболочки kleem
20	Устройство для телевизионной инспекции	«Тарис» или тележка	1	Тележка, видеокамера с подсветкой
21*	Устройство для ввода рукава	СибНИИГиМ	2	Специальное устройство
22	Ресивер с подогревом	СибНИИГиМ	1	Подогрев жидким или твердым топливом
23	Сварочный аппарат	ТД-306У2	1	Для разовых работ
24	Электронасос	«Гном»	1	Для откачки воды
25*	Торы-разделители	ТУ38.304-09-27-92	2	Для удаления остатков воды и протаскивания каната
26*	Торы-уплотнители	ТУ38.304-09-27-92	1	Для уплотнения начала трубопровода
27	Заправочное устройство	СибНИИГиМ	1	Для закачки состава и подачи сжатого воздуха
28	Фляги	ГОСТ 799-78	4	Емкость 38 л
29	Манометры 0,2 МПа		4	Для контроля давления
30	Шланг напорный	Ду = 25	2	Длина рукава 10 м
31	Инструмент		1 к-т	Для вспомогательных работ
32	Лестница-стремянка		2	Для вспомогательных работ
33	Спецодежда и средства индивидуальной защиты		5 ком.	Для работы с полимерными материалами

* Для конкретного диаметра трубы.

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ

Выполнение изоляционных работ с использованием эпоксидных композиций (растворителей, эпоксидных смол, отвердителей и т. д.) требует тщательного соблюдения правил техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности, изложенных в ряде нормативных документов. В том числе в СНиП 12-4-2002, СНиП 12-05-2002, ГОСТ 12.3.016-87, в которых изложены требования и правила безопасности ведения противокоррозионных работ.

Рабочие и ИТР, специализирующиеся на работах по восстановлению трубопроводов с применением полимерных материалов, должны знать:

- 1) инструкции по технике безопасности и пожарной безопасности;
- 2) правила личной гигиены;
- 3) производственные инструкции по проведению технологических операций;
- 4) правила пользования защитными приспособлениями;
- 5) правила оказания первой помощи.

К работам по изоляции трубопроводов допускаются рабочие, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по технике безопасности, в возрасте не моложе 18 лет.

Инструктаж на рабочем месте проводится производителями работ или мастером не реже одного раза в квартал.

Используемые эпоксидные композиции и растворители пожароопасны. Во время работы с этими материалами следует иметь на готове средства тушения пожара: ящики с песком, асbestosовые покрывала, пенные огнетушители ОВП-1100.01 (ТУ 14102-87Е) или углекислотные марки ОУ-2 и ОУ-5 (ТУ 22-150-128-89Е).

Лица, работающие с эпоксидной смолой, должны быть обеспечены спецодеждой, спецобувью и защитными перчатками или рукавицами.

Клеи, смолы, отвердители, растворители и пластификаторы необходимо хранить в плотно закрывающей таре. Растворители и смолы можно хранить в металлической (алюминиевой или оцинкованной стальной) посуде.

Растворители следует хранить в соответствии с правилами, предусмотренными для огнеопасных и воспламеняющихся веществ. В помещении, где работают с растворителями, необходимо иметь средства пожаротушения и индивидуальной защиты от ожогов (асbestовое одеяло, ящики с песком, пенные огнетушители, аптечку).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге представлены новые и усовершенствованные технологии, оборудование и оснастка для бестраншейного ремонта и восстановления трубопроводов водоснабжения и канализации полимерными материалами.

Большинство известных способов восстановления трубопроводов разработаны за рубежом, поэтому их применение в России, наряду с очевидными достоинствами, сопряжено с определенными трудностями. К недостаткам зарубежных технологий, сдерживающих их применение в России, относится высокая стоимость рукавов и оборудования, а также габариты оборудования, которые создают значительные трудности при переброске его на большие расстояния, характерные для России.

Сотрудниками ОАО «СибНИИГиМ», ООО НПФ «Изотор» и Сибирского федерального университета разработаны отечественные бестраншейные технологии окрасочной изоляции и восстановления трубопроводов рукавными покрытиями с применением полимерных материалов.

1. Определены методы и выбрано оборудование для подготовки внутренней поверхности трубопроводов.

2. Разработаны способы и устройства для удаления остатков воды из трубопровода и протяжки первичного троса.

3. Разработаны и усовершенствованы технологии очистки внутренней поверхности трубопроводов:

- химическая очистка преобразователем ржавчины, с применением торов-разделителей;
- механическая очистка скребками с предварительным прогревом трубопровода;

– обеспыливание внутренней поверхности трубопровода путем продувки воздухом с одновременной протяжкой металлической щетки.

4. Установлены основные закономерности движения тора в трубопроводе.

5. Разработаны технические условия на изготовление тороидальных резиновых камер для торов-разделителей и торов-уплотнителей.

6. Исследованы полимерные составы для изоляции внутренней поверхности трубопроводов способом окрашивания и пропиточные kleящие составы для восстановления трубопроводов рукавными покрытиями.

7. Разработана методика ускоренных испытаний на старение полимерных защитных покрытий с привязкой к конкретным условиям эксплуатации.

8. Разработаны, изготовлены и апробированы приборы и оборудование, необходимые для испытания и определения физико-механических свойств защитных полимерных покрытий.

9. Обоснованы основные параметры технологического процесса изоляции внутренней поверхности и восстановления трубопроводов.

10. В результате исследований разработаны следующие отечественные бесстраничные технологии и оборудование:

10.1. Технологические схемы, регламент, необходимое оборудование и оснастка для внутренней окрасочной и оклеечной изоляции трубопроводов.

10.2. Технологии изготовления тканевых рукавов для восстановления трубопроводов:

- спиральных бесшовных рукавов;
- одношовных рукавов с нахлестом;
- одношовных рукавов без нахлеста;

- двухшовных рукавов.

10.3. Способы пропитки тканевых рукавных оболочек полимерным kleящим составом:

- внешняя пропитка;
- внутренняя пропитка.

10.4. Способы совмещения тканевой оболочки и полиэтиленового рукава:

- полиэтиленовый рукав снаружи тканевого рукава;
- полиэтиленовый рукав внутри тканевого рукава.

10.5. Схемы ввода комбинированного рукава в трубопровод:

- с выворотом под давлением;
- с выворотом под вакуумом;
- без выворота;
- с использованием торов-разделителей.

10.6. Технология приkleивания тканевой оболочки к внутренней стенке трубопровода.

10.7. Способыстыковки восстановленных участков трубопроводов:

- сварочный;
- бесварочный.

11. Новизна технических решений подтверждена двенадцатью патентами и тремя авторскими свидетельствами на изобретения [10–22].

12. Достоинством разработанных технологий является применение отечественных материалов и комплекса оборудования для производства работ, отличающихся простотой конструкции, надежностью и возможностью изготовления собственными силами.

13. Расчетами установлено, а внедрением выполненных разработок подтверждено, что себестоимость ремонта трубопроводов, выполненных бесстраничным методом с использованием создан-

ных отечественных технологий и оборудования, в 3 – 6 раз ниже существующих аналогов.

14. Эффективность разработанных технологий и оборудования обоснована их внедрением в производство при бестраншейном ремонте трубопроводов:

- Есаульской оросительной системы Емельяновского района Красноярского края (640 пог. м ϕ 300 мм) и 436 пог. м ϕ 700 мм);
- водопроводов в г. Дивногорске (400 пог. м ϕ 219 мм и 200 пог. м ϕ 159 мм);
- водопровода в аэропорту Домодедово Московской области (60 пог. м ϕ 273 мм под взлетной полосой без прекращения полетов самолетов);
- водопровода в г. Канске (160 пог. м ϕ 800 мм);
- водопровода в г. Саяногорске (70 пог. м ϕ 300 мм под автомобильной дорогой без перекрытия дорожного движения автомобильного транспорта);
- технологического водопровода на станции Красноярск-Восточный (1500 пог. м ϕ 159 мм без остановки движения поездов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородов, В. Н. Технология оклеечной изоляции внутренней поверхности трубопроводов / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 42–44.
2. Белобородов, В. Н. Отечественная бестраншейная технология восстановления трубопроводов / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко // Журнал российского общества бестраншевых технологий. – 2004. – № 8. – С. 5–10.
3. Белобородов, В. Н. Бестраншейная технология восстановления трубопроводов / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко // Газовая промышленность. – 2005. – № 8. – С. 29–32.
4. Белобородов, В. Н. Ремонт и восстановление трубопроводов бестраншевым методом : материалы юбилейной междунар. конф. / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли ; ВНИИГиМ. – М., 2007. – С. 206–211.
5. Емелин, В. И. Совершенствование технологии и оборудования для бестраншевого ремонта трубопровода / В. И. Емелин // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 6. – С. 23–26.
6. Емелин, В. И. Универсальные технические средства высокой проходимости для бестраншевого ремонта трубопроводов / В. И. Емелин // Вестник машиностроения. – 2009. – № 5. – С. 40–44.
7. Емелин, В. И. Тяговые свойства установок для бестраншевого ремонта трубопроводов с помощью комбинированного рукава / В. И. Емелин, А. А. Азеев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 6. – С. 32–35.
8. Емелин, В. И. Локальный ремонт внутренней поверхности трубопроводов / В. И. Емелин, А. А. Азеев // Объединенный научный журнал. – 2007. – С. 96–102.
9. Емелин, В. И. Прочностной расчет эластичных торообразных механизмов для внутритрубных работ / В. И. Емелин // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 10. – С. 26–30.
10. Емелин, В. И. Бестраншевый ремонт трубопроводов статистическим способом с увеличением их диаметра : монография / В. И. Емелин, А. А. Шайхадинов. – Красноярск : Сибирский федеральный университет. – 240 с.

11. А. с. SU 1780854 А1, В 05 С 7/08. Устройство для нанесения жидкости на внутреннюю поверхность труб / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, М. Н. Белобородов, В. П. Немцов, В. П. Санников, В. Г. Арнст. – Бюл. № 7.
12. А. с. SU 1796290 А1, В 08 В 9/04. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, М. Н. Белобородов, В. П. Немцов, В. П. Санников, В. Г. Арнст. – Бюл. № 46.
13. Пат. 2145028 РФ на изобретение С1, F16L58/10, B29C63/34. Способ оклейки внутренней поверхности трубопровода тканью / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко. – Бюл. № 5.
14. Пат. 2148203 РФ на изобретение С1, F16L58/10. Способ нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко, К. А. Берхмиллер, Б. А. Яцевич, В. И. Емелин. – 2000. – Бюл. № 18.
15. Пат. 2151655 РФ на изобретение С1, B05C7/08. Устройство для нанесения жидкости на внутреннюю поверхность трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко, К. А. Берхмиллер, Б. А. Яцевич, В. И. Емелин. – 2000. – Бюл. № 18.
16. Пат. 2198341 РФ на изобретение С1, F16L58/10. Способ восстановления трубопровода и устройство для его осуществления / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко, В. И. Емелин. – 2003. – Бюл. № 4.
17. Пат. 2212578 РФ на изобретение С2, F16L58/10. Способ нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубопровода и устройство для его осуществления / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко, В. И. Емелин, В. А. Тарасенко, В. А. Кудрявцев. – 2003. – Бюл. № 26.
18. Пат. 2248497 РФ на изобретение С1, F16L58/10. Устройство для восстановления трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. Т. Савченко, В. И. Емелин. – 2005. – Бюл. № 8.
19. Пат. 2293241 РФ на изобретение С1, F16L1/00. Устройство для восстановления трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. И. Емелин. – 2007. – Бюл. № 4.
20. Пат. 2337270 РФ на изобретение С1, F16L58/10. Устройство для восстановления трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. И. Емелин, А. А. Азеев, С. Н. Ли. – 2008. – Бюл. № 30.

21. Пат. 2340829 РФ на изобретение С1, F16L58/00. Устройство для восстановления трубопровода / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли, В. И. Емелин, С. Н. Ли, А. А. Азеев. – 2008. – Бюл. № 34.
22. Пат. 2362686 РФ на изобретение С1, F16L58/00. Устройство для восстановления трубопровода / А. А. Азеев, В. И. Емелин, В. Н. Белобородов, А. Н. Ли. – 2009. – Бюл. № 20.
23. Храменков, С. В. Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов – М. : ТИМР, 2000. – 179 с.
24. Гоц, В. Л. Техника окраски внутренних поверхностей / В. Л. Гоц – М. : Машиностроение, 1971. – 148 с.
25. Ладыгин, И. В. Основные методы бестраншейной замены и ремонта трубопроводов / И. В. Ладыгин – Н. : ИГД СО РАН, MediaKompas, СМиТ, 2002. – 4 с.
26. Фомин, К. Л. Методы санации трубопроводов водоснабжения и водоотведения / К. Л. Фомин – М. : ЗАО «Пер Аарслефф» (Россия), СМиТ, 2002. [Интернет-ресурсы, www.aarslff.ru/tbchnol.htm].
27. Ладыгин, И. В. Замена подземных трубопроводов бестраншейным способом с помощью отечественного оборудования / И. В. Ладыгин // Трубопроводы и экология. – 2002. – № 1. – С. 20–21.
28. Белобородов В. Н. Исследования по окрасочной изоляции внутренней поверхности трубопроводов с применением тортов : материалы науч.-практ. конф. "Проблемы мелиорации земель Сибири" / В. Н. Белобородов, Ли А. Н. ; СибНИИГиМ. – Красноярск, 1996. – С. 144–152.
29. Ли, А. Н. Совершенствование технологии нанесения окрасочной изоляции на внутреннюю поверхность трубопроводов с применением тортов-разделителей : дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Ли. – Красноярск, 1997. – 146 с.
30. Авдеев, Р. М. Эластичный торообразный привод для внутритрубных перемещений : дис. ... канд. техн. наук / Р. М. Авдеев. – Красноярск, 2004. – 164 с.
31. Волосухин, В. А. Основы расчета тканевых оболочек гидротехнических сооружений : учеб. пособие / В. А. Волосухин, Ю. А. Свистунов. – Краснодар : КГАУ, 1984. – 105 с.

32. Волосухин, В. А. Прочность и жесткость сооружений гидротехнического и мелиоративного строительства: сб. науч. тр. / В. А. Волосухин Академия водохозяйственных наук. – Новочеркасск, 1995. – 95 с.
33. Волосухин, В. А. Методические указания по расчету гибких устройств для нанесения защитного покрытия на внутреннюю поверхность трубопроводов/ В. А. Волосухин – Новочеркасск, 1989. – 42 с.
34. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов : учеб. для вузов. – 12-е изд., перераб. и доп. / В. И. Феодосьев. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 592 с.
35. Нерубайло, Б. В. Локальные задачи прочности цилиндрических оболочек / Б. В. Нерубайло. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
36. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко и др., 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 737 с.
37. Дымант, А. Н. Эпоксидно-каучуковые покрытия для антакоррозионной и антикавитационной защиты конструкций энергетических сооружений / А. Н. Дымант, Н. С. Покровский. – Л. : Энергия, 1974. – 56 с.
38. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – М.: Металлургия, 1987. – 106 с.
39. Белов, С. В. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / С. В. Белов и др.; под ред. С. В. Белова. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
40. Кочетов, В. Т. Сопротивление материалов / В. Т. Кочетов, А. Д. Павленко, М. В. Кочетов. – Ростов Н/Д : Феникс, 2001. – 368 с.
41. Новожилов, В. В. Линейная теория тонких оболочек / В. В. Новожилов, К. А. Черных, Е. И. Михайлевский. – Л. : Политехника, 1991. – 656 с.
42. Ильичев, А. В. Эффективность проектирования элементов сложных систем / А. В. Ильичев, В. А. Волков, В. А. Грушанский. – М. : Высш. школа, 1982 – 280. с.
43. Основы научных исследований : учеб. для техн. вузов / под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. – М.: Высш. школа, 1989. – 400 с.
44. Натурные исследования – основа технических решений и прогнозов в мелиорации / Л. Г. Балаев, П. Я. Кочина, Марков Е.С. и др. // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 1.
45. Санжаровский, А. Т. Методы определения механических и адгезионных свойств полимерных покрытий / А. Т. Санжаровский – М. : Наука, 1974. – 115 с.

46. Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава –М. : Колос, 1974. – 279 с.
47. Белобородов, В. Н. Гидроизоляция бетонных сооружений и облицовок каналов на гидромелиоративных системах Сибири : дис. ... канд. техн. наук / В.Н. Белобородов. – Красноярск, 1989. – 211 с.
48. Басин, В. Е. Достижения и проблемы в области адгезии полимеров / В. Е. Басин Вып. 2. Сер. 21. Электроизоляционные материалы. – М., 1984. – 54 с.
49. Микульский, В. Г. Склейивание бетона / В. Г. Микульский, В. В. Козлов. – М. : Стройиздат, 1975. – 240 с.
50. Данилова, Л. К. Строительные герметики / Л. К. Данилова, В. М. Чернышев. – Киев, 1974.
51. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель и др. – М. : Наука, 1974. – 560 с.
52. Капацинский, В. И. Разработка режима ускоренных испытаний на старение кровельных рулонных материалов / В. И. Капацинский и др. // Полимерные строительные материалы. – М., 1975. – Вып. 40. – С. 15–29.
53. СП 42-103-97. Восстановление стальных подземных газопроводов с использованием синтетических тканевых шлангов и специального двухкомпонентного клея.
54. Белобородов, В. Н. Анализ состояния оросительных трубопроводов на мелиоративных системах Сибири / В. Н. Белобородов, А. Н. Ли // Проблемы мелиорации земель Сибири : материалы науч.-практ. конф. / СибНИИГиМ. – Красноярск, 1996 – С. 62–66.
55. Проспект фирмы "ИМБЕМА". Техника восстановления трубопроводов группы "Ле Джойнт Интерн", Берлин, Rudolf-diesel-strase, 11.
56. Кюн, Г. Закрытая прокладка непроходных трубопроводов / Г. Кюн, Л. Шойбле, Х. Шлик ; пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана; ред. В. П. Саматлов и А. В. Сладков. – М. : Стройиздат, 1993. – 168 с.
57. Орлов, В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов / В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Стройиздат, 2001. – 96 с.
58. Продоус, О. А. Классификация способов бестраншейного ремонта инженерных сетей / О. А. Продоус // Трубопроводы и экология. – 2003. – № 2. – С. 19 –21.
59. Вилнов, Ж-Ж. Клеевые соединения : перевод с фр. / Ж-Ж Вилнов – М. : Техносфера, 2007. – 384 с.

60. Балтаханов, А. М. Технологии очистки и восстановления напорных трубопроводов / А. М. Балтаханов, Р. Х. Балтаханов // Водоснабжение и санитарная техника : в 2-х ч. Ч. 1. – 2004. – № 4. – С. 25–26.
61. Возиянов, В. И. Обновление старых трубопроводов с помощью протяжки полиэтиленовых труб бестраншейным способом / В. И. Возиянов, Н. А. Гнилорыбов // РОБТ. – 1998. – № 1. – С. 19–20.
62. Григорашенко, В. А. Бестраншейная реконструкция подземных трубопроводов / В. А. Григорашенко, В. Д. Плавских, В. А. Харькин // Строительная техника и технологии. – 2002. – № 3. – С. 76–77.
63. Клепсамел, Ф. Развитие бестраншейных технологий прокладки и ремонта инженерных коммуникаций в Чехии и Словакии / Ф. Клепсамел // РОБТ. – 1997. – № 2. – С. 22–26.
64. Корнопелев, В. А. Реконструкция коммунальных трубопроводов с помощью цементно-песчаной облицовки / В. А. Корнопелев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 4. – С. 30–31.
65. Кузьмин, С. Ю. Телейнспекция трубопроводов при ремонтно-строительных работах / С. Ю. Кузьмин, О. Ю. Кузьмин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 5. – С. 36–37.
66. Левитин, Ю. И. Американский опыт бестраншейного ремонта подземных трубопроводов / Ю. И. Левитин // РОБТ. – 1997. – № 7. – С. 31–35.
67. Похил, Ю. Н. Бестраншейная замена водонесущих трубопроводов / Ю. Н. Похил, В. А. Григорашенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 3. – С. 21–22.
68. Продоус, О. А. Подбор технологического оборудования для бестраншейного ремонта водопроводных и канализационных сетей / О. А. Продоус // Трубопроводы и экология. – 2002. – № 2. – С. 7–8.
69. Ромейко, В. С. Ремонт ветхих трубопроводов с использованием цементно-песчаного покрытия / В. С. Ромейко // Механизация строительства. – 1996. – № 10. – С. 30–31.
70. Харькин, В. А. Комплексная механизация разрушения ветхих подземных трубопроводов из традиционных материалов и замена их полимерными / В. А. Харькин, А. А. Отставнов // Строительные и дорожные машины. – 2004. – № 12. – С. 6–11.

71. Храменков, С. В. Бестраншейные методы ремонта локальных повреждений трубопроводов / С. В. Храменков, В. И. Дрейцер, С. В. Соколов, Л. В. Плешков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 6. – С. 14–16.
72. Храменков, С. В. Ремонт трубопроводов бестраншейным способом с помощью комбинированного рукава / С. В. Храменков, В. И. Дрейцер, Л. В. Плешков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 7. – С. 20–22.
73. Хамармер В.И. Технический надзор на строительстве трубопроводов / В.И. Хамармер – М., Недра, 1981.
74. А. с. 1375360 СССР, кл. B08 B9/02, F28 G7/00. Способ очистки полости труб / В. Т. Вовк, А. П. Брагин, В. К. Борисевич. 1988. Бюл. № 7.
75. А. с. 645715 СССР, кл. B08 B9/02. Способ газожидкостной очистки газопроводов / В. С. Бурных и др. 1979. Бюл. № 5.
76. Пат. 1796290 РФ, кл. B08 B9/04. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода / В. Н. Белобородов и др. 1993. Бюл. № 7.
77. А. с. 325049 СССР, кл. B08 B9/02. Устройство для очистки внутренней поверхности труб / А. А. Пахомов, И. Г. Вереда, Б. Б. Соколов. 1972. Бюл. № 3.
78. А. с. 1744847 СССР, кл. B08 B9/02. Устройство для очистки внутренней поверхности горизонтального трубопровода / В. В. Шишкин. 1989. Бюл. № 12.
79. А. с. 1254621 СССР, кл. B08 B9/02, F28 G7/00. Устройство для электрогидравлической очистки внутренних поверхностей труб / В. П. Тютюнник, С. А. Кунцевич. 1983, Бюл. № 24.
80. А. с. 869128 СССР, кл. B08 B9/02. Устройство для электрогидравлической очистки труб / В. А. Брызгалов, М. М. Добринская. 1980. Бюл. № 28.
81. А. с. 649482 СССР, кл. B08 B9/02, B08 B3/10. Устройство для электроконтактной очистки труб / Г. В. Думанский. 1979. Бюл. № 8.
82. Емелин, В. И. Классификация и выбор способов бестраншейного ремонта трубопроводов / В. И. Емелин, Р. М. Авдеев // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Вып. 21. Машиностроение. – Красноярск, 2000. – С. 90–96.
83. Емелин, В. И. Классификация и прогнозная оценка развития способов очистки трубопроводов / В. И. Емелин, А. А. Шайхадинов // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Вып. 30. Транспорт. – Красноярск, 2002. – С. 28–34.
84. Ремонт трубопроводов по методу Трайтон // РОБТ. – 2001. – № 2. – С. 29.

85. Водоснабжение, водоотведение, оборудование и технологии : справочник. – М. : Стройинффор, 2007. – 456 с.
86. Продоус, О. А. Совершенствование методов использования бесструншнейших технологий для ремонта городских канализационных сетей: автореферат дис. ... д-ра техн. Наук / О. А. Продоус – МАИ, 1999. – 41 с.
87. Примин, О. Г. Разработка и применение информационных технологий для оценки и обеспечения экологической безопасности и надежности сетей водоснабжения и водоотведения города : автореферат дис. ... канд. техн. Наук / О. Г Примин – М., 2001. – 24 с.
88. Загорский, В. А. Конкурентоспособность отечественных бесструншнейших методов / В. А. Загорский, С. В. Храменков, В. И. Дрейцер, Л. В. Плешков // РОБТ. – 1999. – № 1. – С. 3–8.
89. Конструирование машин : справ.-метод. пособие: в 2-х т. Т. 1 / К. В. Фролов, А. Ф. Крайнев, Г. В. Крейнин и др.; ред. К. В. Фролов. – М.: Машиностроение, 1994. – 528 с.
90. Орлов, П. И. Основы конструирования : справ.-метод. пособие: в 2-х кн. Кн. 1 / П. И. Орлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
91. Меерович, М. И. Технология творческого мышления : практ. пособие / М. И. Меерович, Л. И. Шрагина. – Минск: Харвест, 2000. – 432 с.
92. Яцкевич, А. А. Гидравлические установки для бесструншнейной прокладки новых и замены старых трубопроводов / А. А. Яцкевич, Р. Н. Суханова // РОБТ. – 2006. – № 3. – С. 48–49.
93. Статическое разрушение и замена труб // РОБТ. – 2006. – № 3. – С. 34–35.
94. Храменков, С.В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бесструншнейными методами / С. В. Храменков, В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Изда-во АСВ, 2004. – 240 с.
95. Рыбаков, А. П. Основы бесструншнейных технологий (теория и практика) : технический учебник-справочник. – М. : Пресс Бюро, 2005. – № 1 – 304 с.
96. Орлов, В. А. Строительство, реконструкция и ремонт водоотводящих сетей бесструншнейными методами. – М. : Инфра-М, 2007. – 222 с.
97. Шилдз, Дж. Клеящие материалы : справочник / Дж. Шилдз; пер. с англ. Ю. А. Геращенко и др.; под ред. В. П. Батизата. – М. : Машиностроение, 1980. – 368 с.

98. Схиртладзе, А. Г. Проектирование нестандартного оборудования / А. Г. Схиртладзе, С. Г. Ярушин. – М. : Новое знание, 2006. – 424 с.
99. Зуев, Ю. Ю. Основы создания конкурентоспособной техники и выработки эффективных решений / Ю. Ю. Зуев. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 402 с.
100. Монтаж систем внешнего водоснабжения и водоотведения : справочник строителя / А. К. Перешивкин, С. А. Никитин, В. П. Алимов и др. ; под ред. А. К. Перешивкина, С. А. Никитина. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : ГУП ЦПП, 2003. – 828 с.
101. ГОСТ 3813–72. Материалы, текстильные ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении.
102. ГОСТ 3811–72. Материалы текстильные ткани. Нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейных и поверхностных плотностей.
103. ГОСТ 27.001–95. Система стандартов. Надежность в технике. Основные положения.
104. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
105. ГОСТ 9.101–78. Единая система защиты от коррозии и старения. Основные положения.
106. ГОСТ 9.104–79. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации.
107. ГОСТ 9.104–79. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации.
108. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
109. ГОСТ 9.039–74. Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозионная агрессивность атмосферы.
110. ГОСТ 25523–82. Отвердители ангидридные для эпоксидных смол. Методы определения общего кислотного числа, кислотного числа кислоты и их соотношения.
111. ГОСТ Р 50096–92. Пластмассы, отвердители и ускорители отверждения эпоксидных смол. Ч. 1. Обозначения.

112. ГОСТ 10587–84. Смолы эпоксидно-диановые неотверженные. Технические условия.
113. ГОСТ 10354–82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия.
114. ГОСТ 16272–79. Пленка поливинилхлоридная пластифицированная техническая. Технические условия.
115. ГОСТ 27325–87. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий.
116. ГОСТ 2768–84. Ацетон технический. Технические условия.
117. ГОСТ 8420–74. Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости.
118. ГОСТ 9070–75. Вискозиметры для определения условной вязкости.
119. ГОСТ Р 51333–99. Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Термины, технические решения и технические условия.
120. ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технических систем.
121. ГОСТ 262–79. Резина. Метод определения сопротивления раздиру.
122. ГОСТ 270–75. Резина. Метод определения упругопрочных свойств при растяжении.
123. ГОСТ 14249–80. Расчет сосудов под давлением.
124. ГОСТ 12812–80. Тиоколы жидкие. Технические условия.
125. ГОСТ 7827–74. Растворители марок Р–4, Р–4А, Р–5, Р–5А, Р–12 для лакокрасочных материалов.
126. ГОСТ 18188–72. Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов.
127. ГОСТ 8135–74. Сурик железный.
128. ГОСТ 5494–95. Пудра алюминиевая. Технические условия.
129. ГОСТ 3722–81. Подшипники качения. Шарики. Технические условия.
130. ГОСТ 9402–80. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием.
131. ГОСТ 28089–89. Конструкции строительные стеновые. Метод определения сцепления облицовочных плиток с основанием.

132. ГОСТ 28574–90. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний защитных покрытий.

133. ГОСТ 12.3.016–87. Строительство. Работы антакоррозионные. Требования безопасности.

134. ГОСТ 25646–95. Эксплуатация строительных машин.

135. ГОСТ 40.9001–88. Система качества. Модель для обеспечения качества при проектировании и (или) разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

136. ГОСТ 24408–80. Система технического обслуживания и ремонта строительных машин. Правила сдачи в капитальный ремонт и выдачи из капитального ремонта машин и их составных частей. Общие требования.

137. ГОСТ 25044–87. Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения.

138. ГОСТ 40.9002–88. Система качества. Модель для обеспечения качества при производстве и монтаже.

139. ГОСТ 2.602–95*. ЕСКД. Ремонтные работы.

140. ГОСТ 2.601–2006. ЕСКД. Эксплуатационные документы.

141. МДС 12–8.2000. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин / Госстрой России, ЦНИИОМТП. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 76 с.

142. СНиП 3.04.03–85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 28 с.

143. СНиП 12–05–2002. Безопасность труда в строительстве. Ч. 1. Общие требования / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 42 с.

144. СНиП 12–04–2002. Безопасность труда в строительстве. Ч. 2. Строительное производство / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 27 с.

145. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение, наружные сети и сооружения / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997. – 128 с.

146. СНиП 3.05.04 –85 . Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 48 с.

147. МДК 3-02.2001. Правила технической эксплуатации систем сооружений коммунального водоснабжения и канализации. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 127 с.

148. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. – СПб. : Изд-во ДЕАН, 2002. – 240 с.
149. РД 12-411-01. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. – СПб. : Изд-во ДЕАН, 2002. – 96 с.
150. РД 153-39.0-20.518-2003. Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии. – М. : Новости тепло-снабжения, 2003. – 170 с.
151. ASTM F 1216-93 : Standard Pradise for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and curing of a Resin-Impegnated Tube. In ASTM Book of Standards, Vol. 08.04 (Стандарт США F 1216-93. Стандарт в области восстановления существующих трубопроводов и подобных ему сооружений путем инверсии и отверждения пропитанной смолой оболочки).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Белобородов Виктор Николаевич, 1947 г. рождения, зав. лабораторией Сибирского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (СибНИИГиМ), канд. техн. наук. Работает в области гидроизоляции гидротехнических сооружений и бестраншейного ремонта трубопроводов. Изобретатель СССР. За свои разработки награжден медалями ВДНХ СССР и почетными грамотами Министерства сельского хозяйства и Законодательного Собрания Красноярского края.

В. Н. Белобородов окончил Сибирский технологический институт в 1972 г. по специальности «Строительство дорог». С 1964 по 1972 гг. он работал в Сибирском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е.Веденеева, а с 1972 по настоящее время работает в Сибирском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (СибНИИГиМ). Кандидатскую диссертацию по теме «Гидроизоляция бетонных сооружений и облицовок каналов на гидромелиоративных системах Сибири» защитил в Московском институте Союзгипроводхоз в 1989 г. Имеет 75 научных трудов, в том числе 3 авторских свидетельства и 13 патентов на изобретения.

Тел. 8 (391) 2462536, 8-9050877823

e-mail : izotor@krasinet.ru



Ли Александр Николаевич, 1955 г. рождения, ст. научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (СибНИИГиМ), канд. техн. наук. Работает в области бестраншейного ремонта трубопроводов. За свои разработки и их внедрение награжден двумя серебряными медалями ВДНХ СССР.

А. Н. Ли в 1978 г. окончил Красноярский политехнический институт по специальности «Строительные и дорожные машины». С 1978 по 1985 гг. работал в Красноярском ПромстройНИИпроекте, а с 1985 по настоящее время работает в СибНИИГиМе. Кандидатскую диссертацию по теме «Совершенствование технологии нанесения окрасочной изоляции на внутреннюю поверхность трубопроводов с применением тортов-разделителей» защитил в Но-

вочеркасской государственной мелиоративной академии в 1997 г. Имеет 55 научных трудов, в том числе 3 авторских свидетельства и 13 патентов на изобретения. Выполняет весь комплекс научно-исследовательских работ от постановки задачи и разработки чертежей до изготовления опытных образцов, отработки технологии и передачи заказчику в виде оборудования или оказания ему услуг.

Тел. 8 (391) 2462536, 8-9135600550

e-mail : izotor@krasinet.ru



Емелин Вячеслав Иванович, 1942 г. рождения, профессор кафедры «Транспортные и технологические машины» Сибирского федерального университета, канд. техн. наук. Работает в области механизации строительства, ремонта машин, трубопроводов и технологического оборудования.

Основные научные интересы – разработка технологии и оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов. Изобретатель СССР.

В. И. Емелин в 1961 г. окончил Ярославский строительный техникум, с 1961 по 1964 гг. проходил службу в рядах Советской Армии. В 1969 г. окончил Московский инженерно-строительный институт по специальности «Автоматизация и комплексная механизация строительства». С 1969 по 1995 гг. работал в Красноярском ПромстройНИИпроекте, последовательно занимая должности инженера младшего научного сотрудника, заведующего группой, сектором и лабораторией. В 1988 г. в Московском институте ЦНИИОМПП защитил кандидатскую диссертацию по теме «Совершенствование технологии рыхления мерзлых грунтов гусеничными рыхлителями». С 1995 г. по настоящее время работает в Красноярском государственном техническом университете, вошедшем впоследствии в Сибирский федеральный университет. Имея ученые звания доцента, а затем профессора, он успешно совмещает учебно-педагогическую и научно-исследовательскую деятельность. Является автором 248 научных и учебно-методических трудов, в том числе 3-х учебных пособий, 3-х монографий, 37 патентов на изобретения, ряда статей и методических разработок. За свои разработки и их внедрение награжден 3-мя серебряными и 1-й бронзовой медалями ВДНХ СССР. Подготовил двух кандидатов наук и большое количество инженеров.

Тел. 8 (3912) 462498, 8 (3912), 8-9029418681

e-mail : emelinvi07@list.ru