



АССОЦИАЦИЯ «ГИДРОЭНЕРГЕТИКА РОССИИ»

**ОБЗОР**

АКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО  
РЕКОНСТРУКЦИИ (ЗАМЕНЕ) ТРУБОПРОВОДОВ В  
ОСНОВАНИИ ГТС (ТРУБОПРОВОДЫ ГЛУБИННОГО  
ДРЕНАЖА, ОТКАЧКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ  
ГИДРОАГРЕГАТОВ, ВОДОПРИЕМНОЙ ПОТЕРНЫ И Т.П.)

Выполнен по Договору № НИР-06-2020 от 11.11.2020  
Согласован Рабочей группой (протокол от 24.12.2020 №3)

Москва 2020

<b>Содержание</b>	
Введение.....	3
1 Анализ существующих дефектов сети трубопроводов в основании ГТС.....	4
2 Анализ отечественных и зарубежных технологий ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС .....	8
3 Требования к производству работ и материалам при применении технологий ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС .....	17
4 Рекомендации по выбору технологии ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС.....	27
Заключение .....	33
Список использованной литературы .....	34

## **Введение**

Настоящий обзор выполнен инженером-гидротехником О.О. Ситниным для Ассоциации «Гидроэнергетика России» на основании договора от 11 ноября 2020 г. № НИР-06-2020.

Настоящий обзор выполнен в соответствии с техническим заданием, приложенным к упомянутому договору.

Настоящий обзор содержит анализ существующих дефектов сети трубопроводов в основании ГТС, отечественных и зарубежных технологий ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС, а также требования к производству работ, материалам и рекомендации по выбору технологии ремонта и восстановления трубопроводов в основании ГТС.

Настоящий обзор составлен на основании сведений, полученных от эксплуатирующих организаций и имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции гидротехнических сооружений (ГТС) и сведений, содержащихся в открытых источниках.

Настоящий обзор выполнен с учетом требований действующих технических регламентов, стандартов и правил, которые указаны в ссылках по тексту и в списке использованной литературы.

## **1 Анализ существующих дефектов сети трубопроводов в основании ГТС**

В данном разделе, на основании сведений, полученных от эксплуатирующих организаций и имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции ГТС, а также сведений, содержащихся в открытых источниках, рассмотрены дефекты трубопроводов, находящихся в основании ГТС, то есть проложенных в бетоне гидротехнической части, которые, по сложившейся практике проектирования и эксплуатации ГТС, называются закладными трубопроводами.

Закладные трубопроводы являются частью технических систем таких основных ГТС, как бетонные плотины (глухие и водосбросные) и здания ГЭС [4], [5], [13], [16].

В основании этих ГТС, для снятия фильтрационного противодействия, может быть устроена техническая система дренажа, в том числе глубинного, включающая сеть трубопроводов, в том числе закладных.

В здании ГЭС, которое является опасным производственным объектом [3], находятся следующие технические системы, обеспечивающие нормальное функционирование основного технологического оборудования [12], [17]:

- система водяного охлаждения;
- система откачки воды из проточной части гидроагрегатов и дренажных колодцев;
- масляное хозяйство;
- пневматическое хозяйство,

включающие сети трубопроводов, в том числе закладных.

От состояния технических систем ГТС зависит их безопасность [1], [2] и надежность [6]. Состояние технических систем зависит от состояния их составных частей, в том числе от состояния закладных трубопроводов [19].

Закладные трубопроводы соединяют технические помещения ГТС, расположенные на одной или разных высотных отметках, сокращают длину сети и могут располагаться горизонтально, наклонно и вертикально.

Диаметры закладных трубопроводов технических систем находятся в пределах 100 ... 1000 мм, длина – в пределах 1 ... 100 м и более, угол поворота в горизонтальной и вертикальной плоскостях – в пределах 0° ... 90°. Закладные трубопроводы ГТС переменного диаметра, а также имеющие ответвления и разветвления, как правило, не применяются [20].

Вспомогательные технологические системы ГТС, предназначенные для обеспечения жизнедеятельности людей и системы КИА также могут иметь закладные трубопроводы, поэтому, все содержащееся в настоящем Обзоре может рассматриваться применительно к этим трубопроводам, в том числе диаметрами 50 ... 100 мм.

Трубы закладных трубопроводов на существующих ГТС выполнены из углеродистой стали, чем обусловлен характер дефектов (нарушений исправного состояния), которые могут в них возникать.

В открытых источниках встречаются различные классификации дефектов трубопроводов, однако все они составлены применительно к трубопроводам коммунального хозяйства.

Применительно к закладным трубопроводам ГТС можно предложить следующую классификацию дефектов:

1. Засорение трубы в следствии попадания посторонних предметов;
2. Заращение трубы (в том числе обрастание дрейссеной);
3. Абразивный износ стенок трубы;
4. Нарушение структурной целостности трубы в следствии коррозии металла (химической и электрохимической), в том числе:
  - а) образование незначительных по площади язв и свищей;
  - б) образование значительных по площади язв и свищей, не приводящих к частичному разрушению трубы;

- с) частичное или полное разрушение трубы;
- 5. Образование продольных и поперечных трещин в следствии раскрытия стыков и потери несущей способности стенками трубы;
- 6. Изменение формы поперечного сечения в следствии пластических деформаций стенок трубы.

Посторонние предметы могут попадать в закладные трубопроводы через водозаборы, решетки которых находятся в аварийном или ограниченно работоспособном состоянии.

Абразивный износ стенок трубы может возникать в закладных трубопроводах систем водоотведения (осушения);

Коррозия металла может возникать в закладных трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения (осушения). Степень поражения металла труб коррозией зависит от местоположения трубопровода и агрессивности воды. Как показывает накопленный опыт эксплуатации закладных трубопроводов, наиболее подвержены коррозии участки расположенных на них водозаборов, водовыпусков и другие места их выхода из бетона.

В связи с тем, что закладные трубопроводы проектируются так, чтобы они не пересекали деформационных швов ГТС, раскрытие швов, потеря несущей способности стенками труб или их пластические деформации в период эксплуатации возможны только в местах выхода из бетона. Если трещины и деформации стенок труб обнаруживаются в других местах, то их появление вызвано применением некондиционных материалов или нарушением технологии производства строительно-монтажных работ при строительстве ГТС.

Наличие дефектов закладных трубопроводов устанавливается при проведении обследований технических систем ГТС [12], [18]. На основании выявленных дефектов закладных трубопроводов производится оценка их технического состояния [21], [22].

Участки водозаборов, водовыпусков и другие места выхода закладных трубопроводов из бетона могут быть обследованы как визуально (предварительно), так и инструментально (детально).

Состояние внутренней поверхности закладных трубопроводов изучается с помощью телевизионных роботов (диагностический контроль).

Телевизионные роботы, или системы для телеинспекции трубопроводов, впервые появились в Европе в середине 50-х гг. XX в. В 1980-е гг. Практически во всех развитых странах прошел бум внедрения робототехники в отраслях, обслуживающих городские подземные трубопроводы. С начала 1990-х гг. началось активное использование телероботов в России.

На сегодняшний день принята следующая классификация телеинспекционных роботов:

- переносные проталкиваемые телекамеры с черно-белым или цветным монитором, углом бокового обзора  $63^\circ$  и возможностью фокусировки изображения, предназначенные для диагностики технического состояния труб диаметром от 40 до 300 мм на расстоянии до 100 м;
- дистанционно управляемые телекамеры с цветным монитором, углом бокового обзора  $75^\circ$  и возможностью фокусировки изображения, предназначенные для диагностики технического состояния труб диаметром от 100 до 1200 мм на расстоянии до 1000 м.

Достигаемая при диагностическом контроле точность достаточна для выработки стратегии реконструкции закладных трубопроводов [7].

## **2 Анализ отечественных и зарубежных технологий ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС**

В данном разделе, на основании сведений, содержащихся в открытых источниках и имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции ГТС, рассмотрены отечественные и зарубежные технологии ремонта и восстановления трубопроводов применительно к закладным трубопроводам ГТС.

Как следует из имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции ГТС, участки водозаборов, водовыпусков и другие места выхода закладных трубопроводов из бетона, находящиеся в неисправном или ограниченно работоспособном состоянии, ремонтируются путем их замены на аналогичные, выполненные из легированной стали.

Ремонт и восстановление внутренней поверхности закладных трубопроводов стал возможен только с появлением соответствующих технологий.

Технологии ремонта и восстановления внутренней поверхности трубопроводов появились за рубежом в середине XX века применительно к коммунальным трубопроводам, поэтому эти технологии называются бестраншейными.

В открытых источниках встречаются различные классификации бестраншейных технологий ремонта и восстановления внутренней поверхности трубопроводов.

Анализ этих классификаций, проведенный с учетом специфики устройства и функционирования закладных трубопроводов ГТС, позволяет утверждать, что основным способом ремонта и восстановления таких трубопроводов является нанесение внутренних защитных покрытий (облицовок, оболочек, рубашек, мембран, вставок и т.д.) по всей длине трубопровода или в отдельных его местах.



Внутренние защитные покрытия могут выполняться в виде набрызговых оболочек, сплошных покрытий, спиральных оболочек и точечных (местных) покрытий.

Наиболее распространены следующие технические решения по устройству внутренних защитных покрытий для ремонта и восстановления поврежденных трубопроводов:

- нанесение покрытий на внутреннюю поверхность поврежденного трубопровода;
- протаскивание нового трубопровода в поврежденный старый;
- протаскивание гибкой полимерной трубы;
- протаскивание сплошных защитных покрытий из различных полимерных материалов внутрь поврежденного трубопровода;
- использование гибких элементов из листового материала с зубчатой скрепляющей структурой внутри поврежденного трубопровода;
- использование гибкого комбинированного рукава внутри поврежденного трубопровода;
- использование рулонной навивки на внутреннюю поверхность поврежденного трубопровода;
- нанесение точечных (местных) покрытий на внутреннюю поверхность поврежденного трубопровода.

Каждое из перечисленных технических решений отличается специфическими особенностями и имеет свои преимущества, определяющие область его применения. В связи с этим далее приведено краткое описание перечисленных технических решений.

#### Нанесение покрытий (набрызговый метод).

Использование набрызгового метода необходимо рассматривать в историческом аспекте.

При появлении метода за рубежом в 1931 году и вплоть до настоящего времени для нанесения на внутреннюю поверхность поврежденных трубопроводов используются цементно-песчаные покрытия (ЦПП), которые, как показала практика их применения, имеют ряд недостатков, наиболее существенными из которых являются:

- отсутствие несущей способности;
- снижение пропускной способности ремонтируемого или восстанавливаемого трубопровода из-за толщины покрытия (более 4 мм) и его повышенной шероховатости.

В середине 1980-х годов появились покрытия на основе эпоксидных смол, с помощью которых удалось преодолеть упомянутые недостатки ЦПП, однако не удалось избежать появления новых существенных недостатков:

- значительная продолжительность ремонта трубопроводов (более 36 часов) в силу срока, необходимого для полимеризации эпоксидных смол (16 часов);
- невозможность ремонта трубопроводов, имеющих дефекты в виде значительных по площади язв и свищей, не приводящих к разрушению трубопровода или восстановления разрушенных трубопроводов (см. раздел 1 настоящего обзора).

С появлением в конце 1990-х годов полиуретановых смол появились и быстро застывающие покрытия на их основе, которые, в силу отсутствия существенных недостатков, присущих ЦПП и покрытиям на основе эпоксидных смол, в настоящее время используются наиболее часто.

#### Протаскивание нового трубопровода.

Основным достоинством данного технического решения является возможность восстановления сильно разрушенного трубопровода путем прокладки нового, например, из полиэтилена низкого давления (ПНД).

На практике применяются методы протаскивания нового трубопровода в поврежденный старый как с разрушением старого трубопровода, так и без его разрушения.

Метод протаскивания нового трубопровода в поврежденный старый с разрушением старого трубопровода интересен тем, что после разрушения старых труб их место могут занимать новые, выполненные из различных материалов, как правило несколько большего диаметра, чем вышедшие из строя, что приводит к повышению пропускной способности трубопровода. Для разрушения старого трубопровода используются пневмопробойники или раскатчики, вдавливающие осколки стенок старой трубы в окружающую среду, поэтому данный метод применяется только для неметаллических трубопроводов, проложенных в нескальном грунте.

Применительно к закладным трубопроводам ГТС интересен метод протаскивания нового трубопровода в поврежденный старый без разрушения старого трубопровода. В данном случае используется полимерная труба, протягиваемая с помощью пневмолебедки и троса в поврежденный трубопровод. С точки зрения восстановления закладных трубопроводов ГТС рассматриваемый метод имеет следующие существенные недостатки:

- снижение пропускной способности восстановленного трубопровода в силу уменьшения его поперечного сечения;
- возможность повреждения протаскиваемой полимерной трубы осколками вмещающей ее разрушенной трубы;
- образование зазоров между стенками новой трубы и бетоном в силу наличия остающихся в бетоне осколков старой трубы.

#### Протаскивание гибкой полимерной трубы.

Это техническое решение позволяет преодолеть все описанные выше существенные недостатки метода протаскивания нового трубопровода в поврежденный старый без разрушения старого трубопровода.

Метод протаскивания гибкой полимерной трубы заключается в нанесении на внутреннюю поверхность поврежденного трубопровода оболочек в виде деформированных (профилированных, сплюснутых) полимерных труб. При этом обеспечивается не только герметичность стенок трубопровода, но и высокая сопротивляемость динамическим нагрузкам.

Введение в трубопровод и закрепление в нем защитной оболочки может достигаться двумя способами.

Первый способ — протаскивание бесшовного полимерного материала, например, пластиковой профилированной трубы, поперечное сечение которой имеет U-образную форму, на всю длину восстанавливаемого трубопровода с последующим прижатием ее к внутренней стенке путем подачи под давлением теплоносителя (например, водяного пара, горячей воды), в том числе для принятия покрытием круглой формы. Данная технология разработана фирмой «Preussag» и названа «Слип лайнинг». С помощью этой технологии и ее модификаций восстановлено свыше 800 км трубопроводов в разных странах мира. Преимущество технологии состоит в том, что она использует тонкие полиэтиленовые трубы, которые позволяют восстановить трубопроводы практически без уменьшения их поперечного сечения.

Второй способ — введение в старый трубопровод предварительно сжатого по всему сечению (деформированного) нового полимерного трубопровода, имеющего «термическую память» принятия необходимой формы с течением времени (технология «Свейдж лайнинг»). Со временем сжатая труба распрямляется до естественного состояния и прилегает к внутренней поверхности восстанавливаемого трубопровода. Полимерная труба расширяется до тех пор, пока ее внешний диаметр не достигнет размера внутреннего диаметра старого трубопровода и не образует с его стенкой плотного соединения. При этом отпадает необходимость применения специальных отвердителей.

Применительно к закладным трубопроводам ГТС интересен второй способ.

Протаскивание сплошных защитных покрытий.

Отличие данного технического решения от описанного выше метода введения в трубопровод и закрепление в нем оболочки заключается в том, что, либо после протаскивания бесшовного покрытия последующее прижатие его осуществляется специальным грузом в форме баллона, перемещающегося под давлением горячего воздуха или водяного пара, либо постепенное введение скрученной в рулон оболочки в виде чулка (лайнера) сопровождается прижатием ее к стенке жидкостью, подаваемой под давлением.

Далее, в результате процесса полимеризации, происходит затвердевание сплошной защитной оболочки, после чего все устройства и жидкость из трубопровода удаляются. Восстановленный трубопровод может быть сдан в эксплуатацию через несколько суток после проведения описанных операций. Данный метод широко используется рядом зарубежных фирм, в частности: «Coca», «Entrepose T. P.», «Le Joint Interne».

Использование гибких элементов.

Данное техническое решение разработано германской фирмой «Trolining» и состоит в протягивании через поврежденный трубопровод гибких и высокопрочных полиэтиленовых заготовок, соединяемых внутри трубопровода в облицовку с помощью экструзионной сварки. Для плотной фиксации полученной таким образом облицовки к внутренней поверхности трубы в кольцевую полость между стенкой трубы и облицовкой инъецируется цементирующий материал, а внутрь облицовки под давлением нагнетается вода, которая распрямляет облицовку и обеспечивает плотное прижатие облицовки к стенкам трубы.

Система внутренних гибких сегментов «Trolining» позволяет применять различные типы секций, отличающихся друг от друга структурой поверхности (однослойной, многослойной и комбинированной с защитными слоями).

### Использование гибкого комбинированного рукава

Сущность этого технического решения состоит в образовании внутри поврежденного трубопровода новой композитной тонкостенной трубы, обладающей достаточно самостоятельной несущей способностью при минимальном снижении диаметра вмещающего трубопровода.

При реализации метода внутрь поврежденного трубопровода пропускают комбинированный рукав, представляющий собой пропитанный термореактивным связующим армирующий материал (стеклоткань, синтетический войлок). Затем во внутреннюю герметичную оболочку комбинированного рукава под давлением подается теплоноситель (пар, горячая вода), который расправляет рукав, прижимает его к внутренней поверхности трубопровода и полимеризует связующее, образуя новую композитную трубу.

Выворот и продвижение комбинированного рукава в трубопроводе можно осуществлять с помощью гибкого элемента (троса), жидкой или газовой среды, подаваемой под давлением, а также совместным использованием обоих способов.

Основные преимущества метода протаскивания комбинированного рукава — простота и доступность технологии и оборудования для ее реализации, высокое качество и долговечность защитного покрытия, возможность ремонта достаточно изношенных трубопроводов (независимо от материала изготовления) в широком диапазоне их диаметров и длин. С помощью пластикового комбинированного рукава можно восстанавливать круглые, овальные и специальные профили труб.

### Использование рулонной навивки.

Для ремонта и восстановления безнапорных водоотводящих трубопроводов могут применяться методы «Ribloc» и «Expanda-Pipe». Они позволяют облицовывать внутреннюю поверхность трубопроводов

поливинилхлоридной лентой. Для этого используется специальный станок, осуществляющий следующие функции:

- нанесение (навивку) бесконечной ленты по внутреннему диаметру трубопровода;
- крепление ленты к стенкам трубопровода;
- заливку клеящей смолы;
- проталкивание образовавшегося каркаса внутри трубопровода;
- расширение каркаса для его фиксации.

После процесса наматывания оставшееся свободное кольцевое пространство между вмещающей трубой и новым каркасом заполняется специальным раствором и уплотняется трамбовкой для повышения статической прочности.

По технологии «Panel Lok», разработанной фирмой «Camit Ltd» (Австралия), для наматывания применяется специальная профилированная лента из ПВХ, которая имеет снаружи Т-образные рифления. Рифления увеличивают структурную поверхность и обеспечивают механическое сцепление с цементным раствором, инъецируемым между лентой и стенкой поврежденного трубопровода. Профилированную ленту можно применять для круглых, овальных и прямоугольных сечений трубопроводов диаметром от 900 мм, обладающих достаточной несущей способностью.

При использовании некоторых модификаций метода рулонной навивки функционирование трубопровода может не прекращаться.

#### Нанесение точечных (местных) покрытий.

Данное техническое решение характерно для ликвидации одиночных (точечных) сквозных, в том числе периферийных, трещин, вызванных местной коррозией стенок трубопроводов (см. раздел 1 настоящего обзора).

Покрытия для местного ремонта подразделяются на следующие виды:

- жидкие растворы, твердеющие после нанесения на поврежденные поверхности трубы;

- растворы полужидкой консистенции;
- волокнистые материалы с пропиткой смолами (полиэфирными, эпоксидными и полиуретановыми);
- профильные резиновые уплотнители;
- гильзы из нержавеющей стали;
- эластичные рукавные заготовки;
- трубчатые вкладыши.

Анализ описанных выше технических решений применительно к ремонту и восстановлению закладных трубопроводов ГТС свидетельствует о том, что универсального метода в настоящее время не существует. Каждый из методов ограничен соответствующими рамками применения, которые должны удовлетворять сложившимся техническим условиям на различных ГТС, а также материальным и другим возможностям эксплуатирующих организаций.



### **3 Требования к производству работ и материалам при применении технологий ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС**

В данном разделе, на основании сведений, содержащихся в открытых источниках и имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции ГТС, рассмотрены требования к производству работ и материалам при ремонте и восстановлении закладных трубопроводов ГТС по технологиям, описанным в разделе 2 настоящего обзора.

При этом те из описанных технологий, которые заведомо не применимы к ремонту и восстановлению закладных трубопроводов ГТС, не рассматривались.

Перед применением любой из описанных в разделе 2 настоящего обзора технологии для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС необходимы следующие подготовительные работы:

- демонтаж арматуры и фасонных частей, отделение фланцев от стальных труб;
- диагностический телевизионный контроль состояния трубопровода;
- очистка внутренней поверхности труб от случайных предметов, обрастаний и продуктов коррозии;
- телевизионный контроль состояния трубопровода после очистки.

Технологии проведения диагностического контроля трубопроводов описаны в разделе 1 настоящего обзора.

При наличии случайных предметов, обрастаний и продуктов коррозии на внутренней поверхности восстанавливаемого трубопровода, выявленных в результате диагностического контроля, производится его гидродинамическая очистка или очистка с помощью механических скребков и эластичных дисков вплоть до образования металлического блеска на стенках трубы.

С помощью телевизионного контроля состояния трубопровода после очистки фиксируется наличие выступающих элементов, вмятин, сколов, свищей, трещин. Для проведения телевизионного контроля должны использоваться видеоустановки высокой разрешающей способности. По результатам телевизионного контроля должен составляться письменный отчет (протокол), в котором дается полное описание нарушений стыковых соединений, ответвлений и всех дефектов внутренней поверхности, а также заключение о необходимости применения соответствующей технологии ремонтных или восстановительных работ.

Нанесение покрытий (набрызговой метод).

В настоящее время для ремонта и восстановления трубопроводов используются разнообразные покрытия на основе полиуретановых смол (цементно-полимерные составы), которые учитывают материал, назначение, особенности эксплуатации трубопроводов и производятся как за рубежом, так и у нас в стране.

Основные характеристики цементно-полимерных составов:

- не растрескиваются;
- не вымываются и не растворяются;
- не влияют на работу оборудования и химический состав транспортируемой жидкости;
- стойки к температурным деформациям (до 150°С);
- препятствуют появлению отложений.

Цементно-полимерные составы готовятся из сухой (смесь гидравлического вяжущего, фракционированного песка и специальных минеральных и химических добавок – модификаторов) и жидкой (рационально подобранная смесь минерально-полимерных добавок полифункционального действия) частей.

Подготовленная к нанесению на внутреннюю поверхность трубопровода цементно-полимерная смесь должна быть хорошо перемешана

и однородна. Ее подвижность в течение всего времени использования должна быть в диапазоне 6,5 ... 9 по глубине погружения конуса. Перед нанесением на трубопровод цементно-полимерная смесь должна иметь температуру + 10 ... +25°C.

Цементно-полимерные покрытия наносятся на внутреннюю поверхность поврежденных труб диаметром от 300 мм до 2000 мм, слоем от 4 мм до 16 мм в зависимости от диаметра труб, методом центробежного набрызга с использованием разглаживающих устройств.

Допускается на поверхности стальных труб слой плотной ржавчины толщиной не более 0,05 мм (измеряется магнитным толщиномером). Наличие воды в трубопроводе не допускается.

Нанесенные цементно-полимерные покрытия должны соответствовать следующим основным требованиям:

- покрытие должно быть сплошным, поверхность заглаженной (допускаются борозды или гребни с отклонением по глубине до 1 мм при выполнении требований по толщине слоя);
- набор прочности покрытия до 70% должен проходить при температуре +5 ... +30°C и влажности 90 ... 100%;
- покрытие на любом участке восстановленного трубопровода должно иметь среднюю плотность не менее 2200 кг/м<sup>3</sup> и прочность на сжатие в возрасте 3 суток — 30 МПа (70% R28), 7 суток — 35 МПа (80% R28) и 28 суток — 45 МПа (100% R28).

После нанесения цементно-полимерного покрытия трубопровод может быть пущен в эксплуатацию через 3 ... 5 суток, т.е. технологический цикл процесса является относительно продолжительным. Покрытие сохраняется стабильным в течение 50 лет эксплуатации.

Контроль качества восстановления трубопровода при нанесении цементно-полимерных покрытий состоит из контроля качества покрытия и проведения приемо-сдаточных испытаний. Как правило, он включает:

- визуальный осмотр (при диаметре трубопровода более 800 мм) и телеинспекцию (при диаметре трубопровода менее 800 мм), позволяющие выделить усадочные трещины, отслоения облицовок, вздутие, пустоты и другие дефекты, подлежащие ликвидации ручным или механизированным способом с повторным нанесением покрытия;
- измерение толщины путем использования механического способа — прокола специальным щупом в виде пластины размером 100×5×0,8 мм неотвердевшего покрытия или ультразвуковых и электромагнитных толщиномеров (допускаемая погрешность +10%); покрытие должно быть сплошным и гладким, на поверхности допускаются продольные борозды (гребни) глубиной (высотой) не более 1 мм, образованные заглаживающим устройством;
- измерение механической прочности покрытия (через 72 часа после нанесения); прочность образца (кубика) на сжатие (или на изгиб) должна составлять не менее 22,5 МПа; проверка прочностных свойств должна производиться как минимум однократно при каждом нанесении покрытия;
- гидравлические испытания, т.е. натурные измерения расхода воды и давления (в том числе для определения истинного значения коэффициента гидравлического трения).

После описанных операций трубопровод принимается в эксплуатацию.

#### Протаскивание гибкой полимерной трубы.

В данном случае применительно к восстановлению закладных трубопроводов ГТС интересен метод протягивания профилированной трубы, поперечное сечение которой временно уменьшено и которая восстанавливает свою первоначальную форму, обеспечивая при плотном прилегании к

внутренней поверхности поврежденного трубопровода несущественное уменьшение его диаметра.

В этом случае должны применяться трубы из полиэтилена ПЭ 80 с SDR 9, 11 и 13,6 и ПЭ 100 с SDR 11, 13,6 и 17 (SDR — стандартное отношение наружного диаметра трубы к толщине стенки) диаметром 10 ... 2000 мм.

При протягивании полиэтиленовых труб допускается прохождение поворотов трассы под углом до 15°. При больших углах поворотов трассы изменение направления трассы должно осуществляться за счет использования отводов с закладными электронагревателями.

Восстановление закладных трубопроводов ГТС протягиванием полиэтиленовых труб должно осуществляться специализированными строительно-монтажными организациями, оснащенными необходимым оборудованием и располагающими обученными персоналом.

Работы должны выполняться по утвержденному проекту при обязательном контроле организации-заказчика, на которую возложен технический надзор и приемка, а в дальнейшем эксплуатация восстановленных трубопроводов. Персонал организаций, ведущих строительство, технадзор, приемку работ и эксплуатацию пластмассовых трубопроводов, должен пройти обучение по специальным программам.

#### Протаскивание сплошных защитных покрытий.

Протягиваемый внутри поврежденного трубопровода полимерный рукав, для достижения требуемой устойчивости и прочности, сравнимой с аналогичными показателями для нового стального трубопровода, может быть толщиной 2 ... 10 мм.

Закрепленный у торцов и протягиваемый в полость поврежденной трубы бесшовный полимерный рукав плотно фиксируется к внутренней поверхности трубы с помощью предварительно нанесенных клеевых составов (эпоксидной смолы) и давления воздуха или пара. Воздушный поток от компрессора

обеспечивает выворот и продвижение оболочки по длине трубопровода, а термообработка приводит к быстрому твердению клеевых составов.

Данное техническое решение (технология «Феникс») применяется для ремонта и восстановления трубопроводов диаметром от 150 мм до 900 мм имеющих сквозные повреждения и частичное разрушение.

В состав оборудования для проведения восстановления трубопроводов по технологии «Феникс» входят:

- установка для гидравлической очистки внутренней поверхности трубопровода с давлением около 1000 МПа;
- установка «Феникс» с реверсивной машиной и парогенератором;
- передвижная мастерская с пескоструйной установкой для очистки внутренней поверхности трубопровода;
- пылепоглотитель для удаления загрязнений путем создания вакуумного разряжения; компрессор, барабан с чулком и устройства для прочистки;
- телевизионное оборудование для контроля качества прочистки трубопровода и качества санации.

Все необходимое оборудование устанавливается и перевозится на специальном автомобиле.

Внутренняя поверхность трубопровода перед протягиванием должна быть очищена до металлического блеска, что обеспечивается многократным протаскиванием скребкового снаряда с металлическими гребенчатыми и радиальными скребками, специального манжетного снаряда для сбора отложений и поролонового поршня для удаления остатков отложений, а также использованием гидравлической очистки.

Соотношение эпоксидной смолы и отвердителя в период производства работ по нанесению полимерного рукава должно составлять 1:1, скорость подачи рукава в трубопровод — 2,5 м/мин независимо от диаметра трубопровода, подлежащего восстановлению. Продолжительность этапов

затвердевания клеевого состава следует принимать не менее 5 часов при температуре пара 105°C, а продолжительность этапа охлаждения — не более 6 часов при температуре 50°C. Работы проводятся при температуре наружного воздуха не ниже 0°C.

Основное требование к нанесенным полимерным покрытиям — покрытие должно быть сплошным, без видимых дефектов. В случае обнаружения любых видимых дефектов (разрыва рукава, вздутие пленки и т.п.) рукав извлекается из трубы и процесс повторяется.

При использовании метода «Феникс» длина прочищаемого участка трубопровода не должна превышать 100 м, так как используемые стандартные шланги для гидравлической очистки имеют длину до 100 м. Профиль прочищаемого участка должен иметь постоянный уклон, обеспечивающий сток воды из трубопровода. Для исключения застревания рукава на поворотах и образования на нем складок угол поворота трубопровода должен быть для труб диаметром 150 мм менее или равен 15°, для труб диаметром 300 ... 900 мм — менее или равен 45°.

Использование гибкого комбинированного рукава.

С помощью гибких комбинированных рукавов могут восстанавливаться трубопроводы диаметром от 150 до 1000 мм. В зависимости от назначения, состояния и размеров поврежденного трубопровода толщина рукавной заготовки варьирует от 5 мм до 30 мм.

В зависимости от диаметра восстанавливаемых трубопроводов используются два типа гибких комбинированных рукавов:

- трехкомпонентный — из пленочного (защитного), армирующего (из синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки); предназначен для труб диаметром 150 ... 200 мм;
- четырехкомпонентный — из пленочного (защитного), комбинированного стеклоармирующего полотна, армирующего (из

синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки);  
предназначен для труб диаметром 300 ... 1000 мм.

Работы по восстановлению трубопроводов с помощью гибких комбинированных рукавов проводятся в соответствии с технологическим регламентом, согласно которому осуществляются следующие последовательные этапы:

- изготовление рукава и доставка его на стройплощадку;
- подготовка внутренней поверхности трубопровода, подлежащего восстановлению;
- контроль качества подготовки внутренней поверхности трубопровода с помощью телеустановок;
- протягивание рукава внутри восстанавливаемого трубопровода;
- раздув рукава с прижимом его к стенкам восстанавливаемого трубопровода;
- прогрев паром для отверждения ремонтного покрытия;
- удаление оснастки, проведение контрольного телевизионного осмотра восстановленного трубопровода и приемка его в эксплуатацию; в отдельных случаях по требованию заказчика перед пуском производятся гидравлические испытания на водонепроницаемость внутреннего покрытия с использованием ресурсов и оборудования заказчика.

Технология изготовления рукава состоит в раскройке стеклохолста до нужной ширины, складывании и прошивке внахлест на рукавной машине (например, японской фирмы «Brotcher»). Диаметр полученной заготовки должен быть меньше диаметра ремонтируемого участка трубы на 1 ... 3% для избежания складок. В то же время подвижность шва и материала должна обеспечивать плотное прилегание рукава к внутренней стенке трубы. В процессе сшивки армирующего рукава в него помещается прочная капроновая лента. После сшивки рукав свертывается в рулон и поступает на сборку.



Сборка включает два этапа: протягивание армирующего рукава в наружный полиэтиленовый и протягивание внутреннего раздувочного рукава в армирующий.

Армирующий рукав в собранной заготовке пропитывается связующим, в состав которого входят полиэфирная смола (НП-15 в количестве 100 ч. по массе), инициаторы (третбутилпербензоат в количестве 1,5 ч. по массе) и отвердители (перекись бензоила в количестве 0,5 ч. по массе). Подача полиэфирной смолы осуществляется насосом. Перемешивание составляющих производится в реакторе в течение 15 минут. Раскатка связующего производится передвижными нагруженными валами. При этом происходит равномерное распределение связующего в армированном рукаве и его пропитка со скоростью 1 ... 3 м/мин.

Первая операция заключается в доставке рукава к месту ремонта и его подаче через систему роликов в стартовый конец. Протаскивание рукава осуществляется через систему специальных блоков, установленных в финишном конце, с помощью троса и лебедки. Концы рукава герметизируются посредством ввода во внутренний пленочный рукав специальных заглушек с последующим их закреплением на рукаве тканевыми бандажными нарукавниками и стяжными хомутами.

Операция раздува производится паром, получаемым из передвижной котельной установки. В состав установки входят котел, передвижная электростанция и компрессор. Пар подается через шланг в месте установки одной из заглушек. Для удаления воздуха и летучих веществ, выделяющихся из пропитанного рукава, наружный пленочный рукав надрезается в непосредственной близости от герметизирующих заглушек. В состав оборудования входит агрегат по подготовке специальной воды для котла, передвижная электростанция и компрессор. Вблизи второй заглушки устанавливаются контрольный манометр и труба с вентилем для сброса конденсата.

Операция прогрева комплексного рукава производится в течение 3 ... 5 часов (при давлении 0,05 МПа и температуре 100°C), затем давление сбрасывается, заглушки удаляются и ремонтное покрытие охлаждается. С помощью пневматической машины с алмазными дисками обрезаются законцовки, и восстановленный трубопровод подвергается контрольному телевизионному осмотру.

Для определения качества защитного покрытия после завершения всех восстановительных работ производится осмотр внутренней поверхности отремонтированного участка телеустановкой. В случае видимых дефектов (разрыв рукава, вздутие и отслоение защитной пленки, наличие сборок и т.д.) комплексный рукав извлекается из трубы и процесс повторяется. По результатам видеоосмотра могут быть назначены гидравлические испытания на герметичность.

Следует отметить, что уменьшение поперечного сечения трубопровода после его ремонта или восстановления может не приводить к снижению пропускной способности. Такое уменьшение может быть компенсировано снижением коэффициента шероховатости новой трубы.

При проведении работ по ремонту и восстановлению закладных трубопроводов ГТС при любом применяемом бестраншейном методе должны соблюдаться действующие технические регламенты, стандарты и правила, в том числе [23].

Основным документом по организации восстановления закладных трубопроводов ГТС должна являться проектно-сметная документация [8], [9], [10].

#### **4 Рекомендации по выбору технологии ремонта и восстановления сети трубопроводов в основании ГТС**

В данном разделе, на основании сведений, содержащихся в разделах 1 ... 3 настоящего обзора и имеющегося опыта подготовки проектов технического перевооружения и реконструкции ГТС, приведены рекомендации по выбору технических решений для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС.

Альтернатива применению бестраншейных методов для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС в настоящее время отсутствует.

При этом отсутствует и нормативная документация по применению бестраншейных методов для ремонта или восстановления закладных трубопроводов ГТС. Имеющаяся нормативная документация относится, в основном, к области коммунального хозяйства.

Организация и технология производства работ при применении бестраншейных методов для ремонта или восстановления закладных трубопроводов ГТС, как и применяемые материалы, регламентируются, в основном, техническими условиями организаций, выполняющих такие работы.

В случае необходимости ремонта или восстановления закладных трубопроводов ГТС следует отдавать предпочтение следующим хорошо зарекомендовавшим себя технологиям:

- нанесение цементно-полимерных составов;
- использование гибких полимерных рукавов.

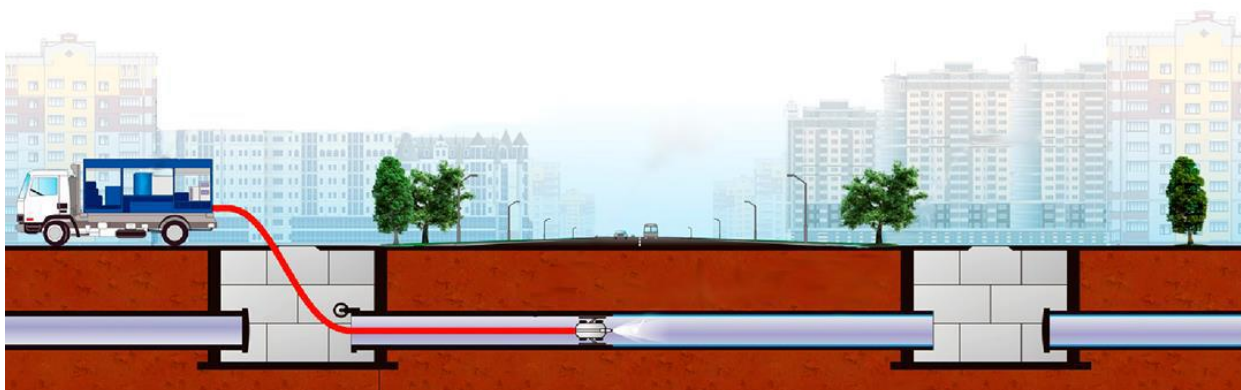
При нанесении цементно-полимерных составов на внутреннюю поверхность закладных трубопроводов ГТС при их ремонте и восстановлении следует руководствоваться существующей типовой технологической картой [15] и следующими рекомендациями подрядных организаций, применяющих этот метод:

- метод может применяться для ремонта и восстановления стальных труб диаметром 80 ... 2200 мм, что покрывает практически весь диапазон встречающихся на практике диаметров закладных трубопроводов ГТС;
- метод эффективен при коррозионном обрастании и абразивном износе труб;
- метод неэффективен при раскрытых стыках и деформациях труб;
- протяженность технологических захваток диктуется длиной стандартных рабочих тросов и рукавов (подача раствора и воздуха), а также техническими характеристиками растворонасоса и не зависит от диаметра трубопровода;
- используя стандартную номограмму, можно установить, с какой скоростью должен перемещаться агрегат в трубе соответствующего диаметра при установленной производительности растворонасоса и обеспечении требуемой толщины слоя.

На представленном ниже рисунке приведено изображение распыляющей головки для нанесения цементно-полимерных составов.



На следующем рисунке изображен пример выполнения работ по нанесению цементно-полимерных составов.



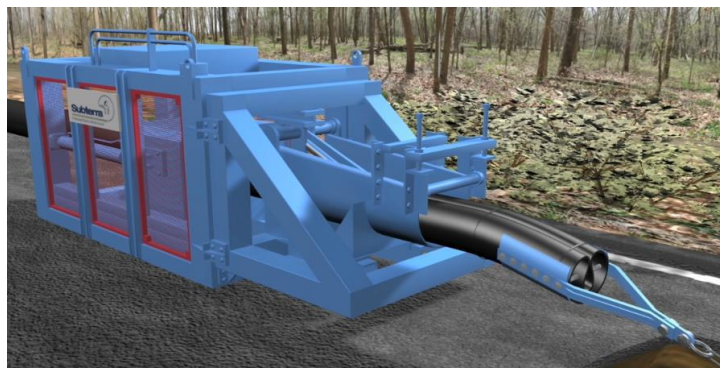
Далее приведено изображение внутренней поверхности трубы с нанесенным цементно-полимерным составом.



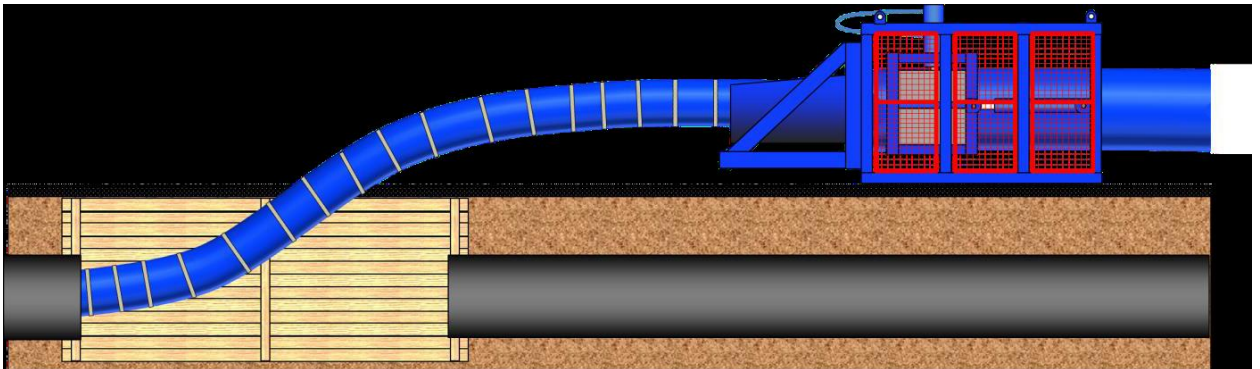
При использовании как зарубежных, так и отечественных технологий гибких полимерных рукавов для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС следует руководствоваться существующими СП [14] и следующими рекомендациями подрядных организаций, применяющих этот метод:

- метод может применяться для ремонта и восстановления стальных труб диаметром 100 ... 1500 мм, что покрывает практически весь диапазон встречающихся на практике диаметров закладных трубопроводов ГТС;
- метод эффективен при трещинах (продольные, поперечные, винтообразные), абразивный износ, свищи (при отсутствии инфильтрации воды в трубу);
- при других повреждениях (раскрытые стыки, смещение труб в стыках) необходима предварительная подготовка, обеспечивающая соосность труб в местах дефектов;
- на используемый гибкий полимерный рукав необходимо иметь сертификат соответствия, выдаваемый Госстандартом РФ по соответствующим техническим условиям и гигиенический, предоставляемый Департаментом государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

На представленном ниже рисунке приведено изображение специальной машины, применяемой при использовании гибких полимерных рукавов.



На следующем рисунке изображен пример выполнения работ при использовании гибких полимерных рукавов.



Далее приведено изображение внутренней поверхности трубы с установленным гибким полимерным рукавом.



Ниже приведена сравнительная таблица рекомендованных технологических решений по ремонту и восстановлению закладных трубопроводов ГТС.

Показатели	Методы	
	Нанесение цементно-полимерных составов	Использование гибких полимерных рукавов
Диапазон диаметров труб, мм	80 ... 2200	100 ... 1500
Длина ремонтного участка, м	180	300
Виды дефектов	Коррозия, трещины	Любые
Материал ремонтного покрытия	Цементно-полимерный состав	Полиэтилен, поливинилхлорид, композит
Продолжительность технологического цикла на длине 100 м, смен	3 ... 5	1
Потери диаметра, %	5 ... 10	3 ... 5
Стоимость в зависимости от диаметра, руб/м	100 ... 300	50 ... 200
Срок службы, лет	50	50

Данные рекомендации не исключают применения для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС других бестраншейных технологий. В любом случае для выбора технологии необходимо выполнить соответствующее технико-экономическое обоснование.

На применении бестраншейных технологий специализируются многие подрядные организации, расположенные в различных регионах.

Так, например, на нанесении покрытий специализируется ЗАО «Юникон-ЗСК», ООО «Роспайп» и другие, предлагающие полный комплекс услуг по нанесению цементно-полимерных покрытий.

На использовании гибких полимерных рукавов специализируется ООО «Производственная Фирма «СТИС», ООО «Империал», ООО «Энергетика» и ряд других компаний.



## **Заключение**

Как показывает опыт эксплуатации, в закладных трубопроводах ГТС, выполненных из углеродистой стали, с течением времени могут возникать дефекты.

Возникающие дефекты закладных трубопроводов ГТС могут приводить к снижению надежности и безопасности технических систем ГТС, частью которых они являются.

Оценка состояния закладных трубопроводов ГТС может быть проведена по результатам их диагностического контроля.

Для оценки состояния закладных трубопроводов ГТС в местах их выхода из бетона применяется как визуальный контроль, так и инструментальный, с помощью ультразвуковых или электромагнитных толщиномеров.

Для оценки состояния внутренней поверхности закладных трубопроводов ГТС должны применяться телевизионные роботы.

При диагностировании ограниченно-работоспособного или аварийного состояния закладных трубопроводов ГТС должен быть проведен их ремонт или восстановление.

Ремонт и восстановление закладных трубопроводов ГТС в местах их выхода из бетона проводятся путем замены этих участков на аналогичные, выполненные из легированной стали.

Ремонт и восстановление внутренней поверхности закладных трубопроводов ГТС может проводиться по бестраншейной технологии одним из наиболее подходящих методов нанесения внутренних защитных покрытий.

С целью выбора метода нанесения внутренних защитных покрытий для ремонта и восстановления закладных трубопроводов ГТС должно быть выполнено соответствующее технико-экономическое обоснование.

## Список использованной литературы

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ;
2. О безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ;
3. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ;
4. ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения;
5. ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения;
6. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения;
7. ГОСТ Р 55260.1.7-2013 Гидроэлектростанции. Часть 1-7. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по ремонту и реконструкции сооружений и оборудования;
8. ГОСТ 2.102-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов;
9. ГОСТ 2.601-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы (с Поправкой);
10. ГОСТ 2.602-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Ремонтные документы (с Поправкой);
11. ГОСТ 2.604-2000 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Чертежи ремонтные. Общие требования (с Изменением № 1, с Поправкой);
12. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 № 229;
13. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003;

14. СП 273.1325800.2016 Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении трубопроводов гибкими полимерными рукавами;

15. Типовая технологическая карта (ТТК). Бестраншейное восстановление трубопроводов. Напыление полимерных покрытий.

16. СО 34.21.308-2005 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения;

17. СТО 17330282.27.140.014-2008 (70238424.27.140.014-2008) Технические системы гидроэлектростанций. Условия создания. Нормы и требования;

18. СТО 17330282.27.140.007-2008 (70238424.27.140.007-2008) Технические системы гидроэлектростанций. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования;

19. СТО 70238424.27.140.026-2009 Гидроэлектростанции. Оценка и прогнозирование рисков возникновения аварий гидротехнических сооружений. Нормы и требования;

20. СТО РусГидро 01.01.78-2012 Гидроэлектростанции. Нормы технологического проектирования;

21. СТО РусГидро 02.03.130 – 2015 Гидроэлектростанции. Техническое освидетельствование зданий, сооружений, основного и вспомогательного оборудования, технологических систем. Нормы и требования;

22. СТО РусГидро 02.03.129 – 2015 Методические указания по организации обследований гидроэнергетических объектов;

23. СТО РусГидро 01.02.132-2015 Гидроэнергетическое строительство. Контроль качества производства работ в процессе строительства. Нормы и требования.