

УДК 628.248:678.026

## Полимерная футеровка железобетонных блоков для строительства канализационных коллекторов

С. В. ХРАМЕНКОВ<sup>1</sup>, К. Е. ХРЕНОВ<sup>2</sup>, Б. И. ФЕДУНЕЦ<sup>3</sup>, А. Ф. КОСОЛАПОВ<sup>4</sup>, А. В. ПАХОМОВ<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Храменков Станислав Владимирович, кандидат технических наук, генеральный директор МГУП «Мосводоканал» 105005, Россия, Москва, Плетешковский пер., 2, тел.: (499) 763-34-34, e-mail: post@mosvodokanal.ru

<sup>2</sup> Хренов Константин Евгеньевич, первый заместитель генерального директора, МГУП «Мосводоканал» Тел.: (499) 263-27-20, e-mail: khrenov@mosvodokanal.ru

<sup>3</sup> Федунец Борис Иванович, доктор технических наук, профессор, Московский государственный горный университет 119991, Россия, Москва, Ленинский проспект, 6, тел.: 8 (906) 061-69-74, e-mail: fedunets@msmu.ru

<sup>4</sup> Косолапов Алексей Федорович, кандидат технических наук, заведующий отделением НПК «Композит» ОАО «НПО Стеклопластик»

141506, Россия, Московская область, Солнечногорский район, пос. Андреевка, тел.: (499) 733-49-88, e-mail: teplohim@bk.ru

<sup>5</sup> Пахомов Алексей Васильевич, генеральный директор ОАО «Моспромжелезобетон»

107143, Россия, Москва, ул. Николая Химушина, 2/7, тел.: 763-98-30, e-mail: pakhomov@mpgb.ru

Возрастающие объемы строительства подземных тоннелей и канализационных коллекторов при практически не меняющейся конструкции их обделки приводят к накоплению аварийного фонда, который в настоящее время достигает критической величины. Представлен краткий анализ основных причин аварийных ситуаций, возникающих в подземных тоннелях и коллекторах. Изучены конструкции и технологии изготовления полимерных футеровок для строительства канализационных тоннелей с учетом состава сточных вод и агрессивных факторов, воздействующих на обделку. Наиболее перспективным материалом для изготовления футеровки является стеклопластик. Предложены наиболее перспективные технологии изготовления футеровок из стеклопластика для высокоточных железобетонных блоков, предназначенных для строительства канализационных коллекторов.

**Ключевые слова:** высокоточный железобетонный блок, канализационный коллектор, стеклопластик, облицовочная панель, полимерная футеровка.

Increasing volumes of the construction of underground tunnels and sewers at practically unchanging structure of their lining lead to the accumulation of emergency stock which at present reached the critical level. A brief analysis of basic reasons for emergency situations taking place in underground tunnels and sewers is presented. Structures and technologies of fabrication of polymeric linings for construction of sewage tunnels with due regard for wastewater composition and aggressive factors influencing on the lining have been studied. The most perspective material for lining fabrication is fiberglass plastic. The most perspective technologies of fabrication of fiberglass plastic linings for high-precision reinforced concrete blocks intended for construction of sewers are proposed.

**Key words:** high-precision reinforced concrete block, sewer, fiberglass plastic, facing panel, polymeric lining.

Эффективное функционирование современного городского хозяйства тесно связано с освоением подземного пространства, в частности, с сооружением коммунальных коллекторных тоннелей. Учитывая неглубокое заложение тоннелей (до 20 м), высокую плотность поверхностной застройки, наличие ответственных сооружений

на поверхности, разветвленность сетей подземных коммуникаций, строительство коллекторных тоннелей целесообразно осуществлять закрытым способом, а именно – щитовым. Однако в этом случае необходимо использовать в качестве крепи сборную обделку, которая должна быть прочной, герметичной и долговечной. Вмес-

те с тем, все возрастающие объемы строительства таких тоннелей при практически не меняющейся конструкции их обделки приводят к накоплению аварийного фонда, который уже сегодня достигает критической величины.

**По данным проведенных обследований, свыше 90% всех подземных городских сооружений выходят из строя ранее проектных сроков, т. е. не соответствуют проектному уровню долговечности. Преждевременный износ приводит к их отказу и необходимости выполнения ремонтных работ. Однако конструкции подземных сооружений трудно вскрыть, дорого ремонтировать. Таким образом, на сегодняшний день показатели надежности конструкций подземных сооружений находятся на низком уровне.**

Для поддержания подземных сооружений в надлежащем состоянии в процессе их эксплуатации размеры инвестиций в развитых странах доходят до 50% общей стоимости строительства. Значительная часть финансовых средств (до 30% стоимости строительства каждого кубометра сооружения в пересчете на один год эксплуатации) идет на мероприятия по борьбе с отказами несущих конструкций, среди которых основное место занимает нарушение гидроизоляционных свойств обделок.

Анализ состояния действующих тоннелей показал, что срок их эксплуатации невелик, а используемые материалы не обеспечивают требуемую гидроизоляцию. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется выбору конструкции крепи коммуникационных тоннелей с применением современных высокопроизводительных механизированных комплексов с обделкой из высокоточных железобетонных блоков с повы-

шенной несущей способностью, позволяющих отказаться от возведения вторичной обделки («рубашки»).

Так, например, при строительстве опытного участка Царицынского канализационного тоннеля (рис. 1) с помощью тоннелепроходческого механизированного комплекса «Херренкнехт» (Германия) специалисты ОАО «СУПР» использовали новую технологию без возведения вторичной обделки. При этом применялись новые конструкции высокоточных железобетонных блоков с полимерной футеровкой. Эти работы выполнялись по заказу Управления капитального строительства гидротехнических сооружений МГУП «Мосводоканал». Щитовой тоннель имеет диаметр 3,15 м. Учитывая положительный опыт проведенных работ, ставится задача по разработке и апробации технологии изготовления полимерной футеровки из компонентов отечественного производства для строительства канализационных тоннелей с применением футерованных высокоточных блоков.

**Анализ конструкций и технологий изготовления полимерных футеровок для строительства канализационных тоннелей.** В практике подземного строительства при реконструкции действующих канализационных коллекторов часто используют технологию нанесения защитного покрытия на те участки тоннеля, где нарушена конструкция крепи. Наиболее часто в практике ремонтных работ встречается локальный ремонт железобетонных конструкций с использованием цементных и полимерцементных строительных растворов и бетонов. Основные методы ремонта: сплошное нанесение покрытий на основе цементно-песчаных растворов или полимерных смол; покрытия в виде гибких полимерных рукавов; введение в старый трубопровод нового из полимерных материалов; сплошное покрытие из отдельных элементов на основе листовых материалов (термопластов или реактопластов); спиральные полимерные оболочки; локальные защитные покрытия.

Ремонт в подземных сооружениях выполняется после завершения гидроизоляционных работ, причем при восстановлении поврежденных коррозией бетонных покрытий используют композиционные материалы, армированные стекловолокном (стеклопластики). Результаты многолетних наблюдений показывают, что применение таких материалов позволяет значительно продлить срок эксплуатации тоннеля после капитального ремонта. Очень часто из-за нарушения технологии и условий выполнения работ, неправильного выбора и несовместимости ре-



**Рис. 1. Участок Царицынского канализационного коллектора**

монтажных материалов со «старым» бетоном вновь наступает отказ конструктивных элементов.

Учитывая стойкость композиционных материалов к истиранию и коррозионному разрушению, разработаны методы строительства канализационных тоннелей, в которых используется сборная конструкция крепи с заранее нанесенным на ее внутреннюю поверхность композиционным материалом (например, стеклопластиком). Такие технологии позволяют отказаться от возведения вторичной гидроизоляционной рубашки. Причем блоки должны иметь стандартные геометрические размеры, исключающие необходимость дополнительных расчетов и отвечающие требованиям, предъявляемым к щитовым проходческим комплексам.

Наибольший интерес представляет конструкция блока, разработанная специалистами Московского государственного горного университета совместно с ООО Институт «Каналстройпроект» и ГУП «Мосинжпроект». В конструкции используется стеклопластиковая футеровка, которая закладывается в пресс-форму при изготовлении блока. Технология создания полимерного покрытия позволяет сократить время и трудоемкость работ при устройстве гидроизоляционного покрытия на 50%. В новой конструкции крепи бетон выполняет только несущую функцию при воздействии нагрузок, при этом может не обладать необходимой водонепроницаемостью.

Существуют следующие технологии изготовления футеровок в производственных условиях:

*прессование* на прессе методом смыкания пуансона и матрицы;

*контактное формование* вручную на пресс-форме, изготовленной из стеклопластика или металла. В пресс-форму последовательно укладываются слои стекломата и стеклоткани, предварительно пропитанные термореактивным связующим;

*напыление* в пресс-форму рубленого стекловолокна и термореактивного связующего.

Наиболее перспективной является технология, в которой сочетаются контактное формование и напыление. При этом в заранее подготовленную форму укладываются слои стеклоткани, а между ними напыляется смесь из рубленых стеклянных волокон и термореактивного связующего.

**Облицовочные панели из стеклопластика для высокоточных железобетонных блоков.** Одной из главных задач при проектировании и сооружении коллекторных тоннелей является обеспечение долговечности их обделок, т. е. безотказность работы сооружения в течение заданного

срока эксплуатации при минимальной стоимости строительства. Качество строительства, срок службы коллекторных тоннелей и капитальные затраты на их возведение зависят от вида отделки и технологии их изготовления.

**Проведенные исследования выявили агрессивные факторы, действующие на обделку коллекторных тоннелей:**

**высокая концентрация в почвенных водах тяжелых металлов (шестивалентного хрома, марганца, меди, цианидов, ртути, цинка), действие которых обусловлено высокой радиоактивностью грунтов (предельное значение 288 мкР/ч);**

**содержание нефтепродуктов в сточных водах (0,8–7,4 мг/л);**

**проникновение в грунты солей с объектов городского хозяйства (концентрация сульфатов – 2,5 г/л; хлоридов в грунтах – более 30 г/л, в грунтовых водах в пересчете на хлор – 3521 мг/л, с талыми водами в коллектор дополнительно попадает 3200 мг/л);**

**высокое содержание сероводорода (0,05 мг/л), оксида углерода (0,1%) и аммиака (до 4 мг/л) в тоннеле. В коммунальных канализационных тоннелях газы не агрессивны по отношению к бетону обделок, пока их содержание не превышает следующие значения: углекислый газ < 1000 мг/м<sup>3</sup>; аммиак < 0,2 мг/м<sup>3</sup>; сернистый ангидрид < 0,5 мг/м<sup>3</sup>; хлор < 0,1 мг/м<sup>3</sup>; сероводород < 0,01 мг/м<sup>3</sup>; хлористый водород < 0,05 мг/м<sup>3</sup>;**

**влажная атмосфера в тоннеле (влажность 60–100%);**

**электрохимическая коррозия;**

**истираемость лотка тоннеля вследствие воздействия абразивных материалов при скорости движения сточной воды более 2 м/с;**

**газовая коррозия в результате химических, физико-химических и биохимических процессов в сточной воде (газовая среда – кислород, сероводород, углекислый газ, метан, аммиак).**

**Действие вышеприведенных факторов приводит к аварийному состоянию обделки канализационных коллекторных тоннелей или выводит ее из строя на долгое время. Состав сточных вод (по данным МГУП «Мосводоканал») приведен в таблице.**

**К основным видам физико-механического разрушения обделок канализационных коллекторов относятся: свищи – сквозные отверстия диаметром от 0,5 до 5 см; трещины поперечные и вдоль оси выработки (раскрытие трещин достигает до 3 см); выпадение кусков бетона из сводной части; размыв лотковой части под действием твердых включений, переносимых протекающими по коллектору массами.**

Показатель	Максимальная концентрация
pH	7,5
Азот аммонийных солей (аммоний-ион), мг/л	24
Алюминий, мг/л	1,3
Железо, мг/л	3,1
Медь, мг/л	0,13
Никель, мг/л	0,0085
Хром, мг/л	0,0082
Сероводород и сульфиды (H <sub>2</sub> S), мг/л	0,8
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ), мг/л	34
ХПК	550
Хлориды, мг/л	92
Электропроводность, мкСм/см	930
Сероводород в смотровых колодцах (H <sub>2</sub> S), мг/см <sup>3</sup>	30

### Требования к полимерной футеровке обделки.

С целью защиты обделки от агрессивного воздействия протекающих по тоннелям сред полимерные футеровки необходимо изготавливать из термореактивных смол. Материал футеровки должен выдерживать воздействие агрессивных грунтовых вод, быть устойчивым к биологической, газовой и электрокоррозии, обеспечивать стойкость лотка тоннеля к истиранию.

Наиболее перспективными материалами, отвечающими этим требованиям, являются полимерные композиционные материалы на основе реактопластов, органических и неорганических наполнителей. Эти материалы характеризуются новыми технологическими и эксплуатационными свойствами и новыми функциональными возможностями. Сочетание проектно-кон-

структорских решений и оптимальных технологических процессов позволяет создавать изделия из полимерных композиционных материалов с заданными свойствами.

В настоящее время существует возможность конструировать состав и структуру изделий, отвечающих заданным условиям эксплуатации, выбирать исходные компоненты, определять и задавать требуемые параметры структуры материала, формировать границу раздела фаз «матрица–наполнитель», рассчитывать и прогнозировать эксплуатационные свойства полимерных композиционных материалов.

Среднегодовые темпы роста по сегментам рынка композиционных материалов представлены на рис. 2. Лидерами рынка являются США (33,7%) и Китай (19%). По прогнозам специалистов, рынок полимерных композиционных материалов будет расти в период с 2009 по 2013 г. со среднегодовыми темпами не ниже 3,3%: в Северной Америке – 1,8%, в Европе – 2,3%, в Азии – 5,3%. К 2013 г. рынок композиционных материалов возрастет до 25,7 млрд. долларов.

Наиболее распространен стеклопластик – композиционный материал на основе органических связующих (эпоксидных, полиэфирных, винилэфирных, фенолоформальдегидных) и стеклянного наполнителя (матов, ткани, ровинга, рубленого волокна). Стеклопластики отличаются высокой прочностью, твердостью, жесткостью, варьированной деформативностью, водо- и паронепроницаемостью, высокой коррозионной стойкостью к агрессивным средам (кислотам, щелочам) и биологически активным компонентам. Изделия из стеклопластиков (трубы и емкости) более 40 лет успешно применяются в химической, нефтяной, газовой промышленности,

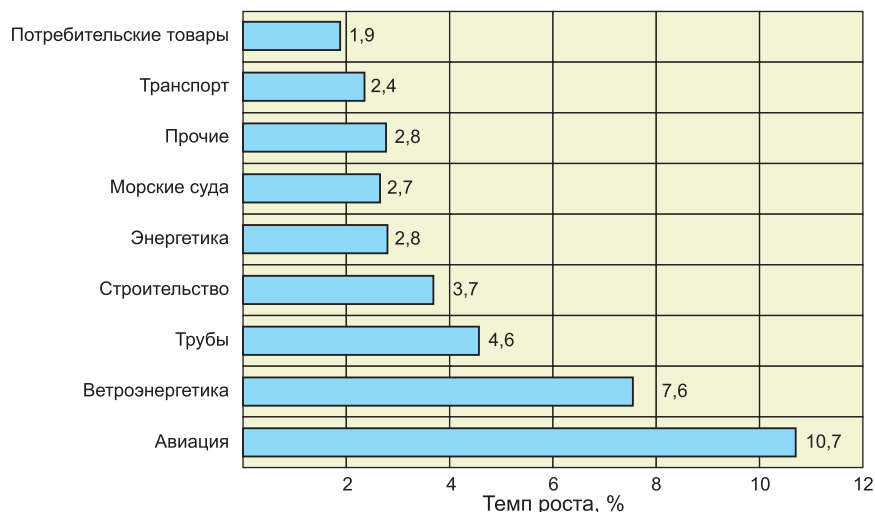


Рис. 2. Среднегодовые темпы роста по сегментам рынка композиционных материалов



энергетике, авиа-, ракето- и судостроении, строительстве, сельском хозяйстве и на транспорте.

На сегодняшний день одним из перспективных направлений использования стеклопластиков является облицовка (футеровка) железобетонных блоков для гидроизоляции подземных сооружений и тоннелей. Такие конструкции позволяют создать прочную, герметичную оболочку, существенно снизить массу конструкций, увеличить коррозионную стойкость, повысить срок службы конструкций до 40–50 лет.

Серийное производство облицованных стеклопластиком железобетонных блоков в России до настоящего времени не освоено, несмотря на то что все необходимые исходные компоненты для производства листовых облицовочных панелей из стеклопластика выпускаются отечественной промышленностью в достаточном объеме. Футеровка для высокоточных железобетонных блоков представляет собой листы размером 1×1,6 м и толщиной 5 мм (рис. 3). Панели изготавливаются из стеклопластика на основе эпоксидного или полиэфирного связующего и армирующих материалов (стекломатов и стеклоткани).

В общем случае технология изготовления облицовочных панелей из стеклопластика включает следующие этапы: контроль входящих сырьевых компонентов; подготовка оборудования к проведению технологического процесса; подготовка сырьевых материалов (связующих и армирующих материалов); формование облицовочных панелей в формах; отверждение отформованных изделий; извлечение изделий из форм; механическая обработка готовых изделий.

Технологии изготовления облицовочных панелей (футеровок) в производственных условиях:

*прессование* на прессе методом смыкания пуансона и матрицы – наиболее производительный метод. Изделия получают с качественной поверхностью с обеих сторон. Однако, учитывая габариты панелей, для производства требуются дорогостоящие инструментальные металлические пресс-формы и уникальные крупногабаритные прессы, являющиеся дефицитными в России;

*инжекция* – пропитка армирующего материала, предварительно помещенного в зазор между пуансоном и матрицей замкнутой формы, и отверждение связующего, пропитавшего армирующий материал в той же форме. Изделия также получают качественными с обеих сторон, однако есть один недостаток – наличие выступающих анкерных элементов на выпуклой стороне облицовочной панели;



Рис. 3. Облицовочные панели (футеровка) для высокоточных железобетонных блоков

*контактное формование* вручную на пресс-форме, изготовленной из стеклопластика или металла. В пресс-форму последовательно укладываются слои стекломата и стеклоткани, предварительно пропитанные термореактивным связующим;

*напыление* в пресс-форму рубленого стекловолокна и термореактивного связующего.

Наиболее перспективной является технология, в которой сочетаются контактное формование и напыление. При этом в заранее подготовленную форму укладываются слои стеклоткани, между ними напыляется смесь из рубленых стеклянных волокон и термореактивного связующего. Преимущество этих методов заключается в использовании простых и недорогих форм при изготовлении крупногабаритных изделий. Для этих методов требуется только один формующий элемент – пуансон или матрица, также изготовленные из полимерных композиционных материалов (например, стеклопластика).

Метод напыления осуществляется с помощью напылительного пистолета, содержащего устройство для рубки непрерывного ровинга (с бобин) на мерные отрезки длиной 20–30 мм, а также устройства для дозирования и смешения компонентов полимерного связующего (смолы и отвердителя).

Для оптимального проектирования облицовочных панелей, используемых для строительства канализационных коллекторов, главными критериями должны выступать цена, качество и долговечность с учетом большого ассортимента связующих и армирующих материалов (стеклянных, органических, базальтовых, углеродных и др.).

Технология строительства канализационных тоннелей без возведения вторичной обделки («рубашки») обладает значительными преимуществами по сравнению с традиционной технологией. Снижаются объемы перевозки породы от проходки, доставки бетона, арматуры, вспомогательных материалов и пр. и, как следствие, уменьшаются транспортные «пробки» на магистралях города. При применении беспросадочной проходки тоннелей современными высокоэффективными тоннелепроходческими механизированными комплексами значительно повышается надежность конструкции канализационных коллекторов, увеличивается срок их службы, снижаются эксплуатационные затраты, существенно улучшается экологическая ситуация.

В настоящее время продолжают работы по созданию полимерной футеровки из отечественных материалов и комплектующих, стоимость которых, как показали расчеты, ниже стоимости возведения вторичной обделки («рубашки»).

ОАО «Моспромжелезобетон» изготовлены экспериментальные образцы футеровки из отечественных материалов и высокоточных же-

лезобетонных блоков с более высоким качеством. Технология изготовления высокоточных железобетонных блоков рассмотрена и одобрена экспертной комиссией по новой технике Департамента городского строительства Москвы. Калькуляция на изготовление железобетонных блоков обделки с полимерной футеровкой из отечественных материалов находится на согласовании в Комитете города Москвы по государственной экспертизе проектов и ценообразованию в строительстве.

Принимая во внимание высокое качество работ по строительству опытного участка Царицынского канализационного канала протяженностью 504 м, считаем необходимым продолжить работу по строительству канализационных коллекторов с применением высокоточных железобетонных блоков с полимерной футеровкой.

Расчетное значение стоимости новой технологии строительства канализационных тоннелей без возведения вторичной обделки («рубашки») на вышеуказанных объектах позволит повысить темпы строительства до 200–250 м в месяц и получить практически готовый тоннель после его проходки и, самое главное, снизить стоимость строительства на 15–20%.

УДК 628.147.22:621.35

## Особенности электрохимической защиты на длительно эксплуатировавшихся стальных подземных трубопроводах

**А. Б. КОСЫГИН<sup>1</sup>, В. Н. ХАНИН<sup>2</sup>, А. И. КОНЕЧНОВ<sup>3</sup>,  
И. В. ФОМИНА<sup>4</sup>, Е. Г. КУЗНЕЦОВА<sup>5</sup>, Л. В. РЕМЕЗКОВА<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Косыгин Александр Борисович, кандидат технических наук, начальник Центра технической диагностики «Мосводоканал» 105275, Россия, Москва, 8-я ул. Соколиной Горы, 22а, тел.: (495) 365-11-58, e-mail: kosygin@mosvodokanal.ru

<sup>2</sup> Ханин Виталий Николаевич, заместитель начальника — главный инженер Центра технической диагностики «Мосводоканал» Тел.: (495) 365-11-58, e-mail: hanin@mosvodokanal.ru

<sup>3</sup> Конечнов Анатолий Иванович, начальник службы эксплуатации электрозащитных установок, Центр технической диагностики «Мосводоканал» Тел.: (495) 365-11-58

<sup>4</sup> Фомина Ирина Валерьевна, кандидат технических наук, руководитель группы Центра технической диагностики, МГУП «Мосводоканал» Тел.: (499) 748-99-64, e-mail: fomina@mosvodokanal.ru

<sup>5</sup> Кузнецова Елена Георгиевна, кандидат химических наук, заведующая отделом защиты подземных сооружений от коррозии, ФГУП «АКХ им. К. Д. Памфилова» 123371, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 116, тел.: (495) 490-38-00, e-mail: kor@akx.ru

<sup>6</sup> Ремезкова Любовь Васильевна, кандидат химических наук, заведующая лабораторией электрохимической защиты, ФГУП «АКХ им. К. Д. Памфилова» Тел.: (495) 490-38-00, e-mail: kor@akx.ru