

УДК 69.035.4

*Г.Г. Богачев*

**ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ  
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**О**дним из основных факторов, обеспечивающих нормальные условия эксплуатации подземных сооружений, является надежная гидроизоляция.

Результаты обследования подземных сооружений за 10 лет показал, что практически во всех подземных сооружениях из-за отсутствия системного подхода к проектированию, устройству и эксплуатации гидроизоляционной системы происходит ее отказ на ранней стадии эксплуатации (табл. 1) [1].

При сооружении подземных сооружений открытым способом предусматривается защита несущих конструкций от воды, химической и биологической агрессии гидроизоляционными материалами. Гидроизоляция обделок представляет собой замкнутое по всему контуру многослойное покрытие, позволяющее при локальных повреждениях отдельного слоя компенсировать дефекты укладкой последующего слоя.

Как показывает практика метростроения, применение традиционных гидроизоляционных битумных рулонных материалов (гидроизола, гидростеклоизола), предусмотренных нормативной документацией (ВСН 104-93 «Нормы по проектированию и устройству гидроизоляции тоннелей метрополитенов, сооружаемых открытым способом» и СНиП П-26-76 «Кровли»), не может

обеспечить надежную защиту обделок тоннелей от воды и агрессивных сред.

Требования к гидроизоляционным материалам, содержащиеся в этих нормативных документах, в том числе и в ГОСТ 30547-97 «Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные», не учитывают весь комплекс негативного воздействия окружающей среды.

Поэтому применение гидростеклоизола на ответственных объектах, в метростроении и автомобильном строительстве запрещено Строительным департаментом г. Москвы и корпорацией «Трансстрой», а требования к гидроизоляционным материалам и конструкциям предъявляются более жесткие, в том числе по таким показателям, как водонепроницаемость, биостойкость, стойкость в агрессивных средах и долговечность.

Исходя из опыта применения и эксплуатации различных гидроизоляционных материалов отечественного и зарубежного производства в подземном строительстве и в соответствии с ГОСТ 30547-97, НИЦ «Тоннели и Метрополитены» ОАО ЦНИИС разработал основные технические требования к ним (табл. 2).

Требования к материалам поверхностных покрытий при защите бетонных и железобетонных конструкций подземных сооружений от проникновения в них воды и агрессивных веществ, составленные в соответствии с

Таблица 3

№п/п	Эксплуатационные характеристики покрытия	Проектный срок службы, лет	Требуемое время отказа гидроизоляционной системы, лет
1.	Проницаемость CO <sub>2</sub>	$S_{CO_2} > 50$ м	19
1.	Тоннели метрополитена	Более 100	19
2.	Канальная абсорбция воды	$W < 0,1 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$	5
2.	Подземные автостоянки	100	5
3.	Температурная совместимость при воздействии антиобледенительных солей	Не должно наблюдаться образования пузырьков, трещин, расслоения	24
3.	Тоннели гидротехнические	80	24
4.	Тоннели инженерных коммуникаций	Испытание на отрыв (Н/мм <sup>2</sup> ):	10
4.	Совместимость при воздействии температурного удара	• вертикальные нагрузки $\geq 0,8$ (0,5)*;	
5.	Каналы и водосборы	• горизонтальные, без движения $\geq 1,0$ (0,7)*;	
6.	Аэротенки	• горизонтальные, с движением $\geq 1,5$ (1,0)*	
7.	Фильтры	Испытание на отрыв (Н/мм <sup>2</sup> ):	18
8.	Аэризаторы вторичной очистки	• вертикальные нагрузки $\geq 0,8$ (0,5)*	
9.	Канализационные коллекторы	• горизонтальные, без движения $\geq 1,0$ ;	
		• горизонтальные, с движением $\geq 1,5$	
		< 0,3 % (для жестких покрытий)	
	Таблица 2 6. Линейная усадка полимерных покрытий <b>Технические требования к рулонным материалам для гидроизоляции транспортных тоннелей</b>	Задается в проекте с учетом конкретных условий (климат, ширина раскрытия, динамика).	
	<b>Характеристики</b>	Отсутствие отслаивания после испытаний	
8.	Совместимость с влажным бетоном	• битумно-полимерных (на основе из полимерных волокон) в соответствии с ISO 4628 пузырение, трещинообразование, шелушение должно отсутствовать;	
	Условная прочность, МПа, не менее	Не нормируется	10,0
	Разрывная сила при растяжении, Н, не менее	• адгезия $\geq 1,5$ Н/мм <sup>2</sup> , отказ происходит менее чем в 50 % случаев из-за разрушения адгезионного состава	Не нормируется
	Водопоглощение в течение 24 ч, % по массе, не более		1,0
	Паропроницаемость	• класс I (паропроницаемый) $S_{H_2O} > 5$ м	
	Водонепроницаемость при гидростатическом давлении, МПа, не менее	• класс II (паронепроницаемый)	0,2
	Температура хрупкости вяжущего, °С, не выше	$\alpha < 30 \cdot 10^{-3}$ при нанесении покрытий с внешней стороны	-25
	Коэффициент температурного расширения		-20
	Гибкость на брусе с закруглением радиусом 10,0±0,2 мм, не выше		-40
	Ускоренное старение	Отсутствие отслаивания после 2000 ч ускоренного старения в соответствии с EN1062-11+85	85
	Теплостойкость, °С в течение 2 ч, не ниже		85
	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	Границы не определены. Не нормируется	200
	Адгезия к бетону, МПа, не менее	• в соответствии с ISO 4628 пузырение, трещинообразование, шелушение должно отсутствовать;	10
	Химическая стойкость (снижение условной прочности и относительного удлинения или разрывной силы при воздействии солей, кислот, щелочей, бензина, минеральных масел и др.), %, не более	• адгезия $\geq 1,5$ Н/мм <sup>2</sup>	

Примечание: \* – минимальные единичные значения

данными Европейских стандартов по защите и ремонту подземных конструкций, приведены в табл. 3 [1].

Представленные в таблицах требования являются основой для оценки и выбора гидроизоляционных материалов

для конкретных подземных объектов с учетом условий их эксплуатации.

За рубежом битумно-полимерные и полимерные материалы (геомембраны) уже десятки лет производятся и эксплуатируются в подземных сооружениях.

Наибольшее распространение в западных странах получили геомембраны на основе ПВХ (PVC), полиэтилена высокого давления (HDPE) и высокоэластичного полиэтилена (VFPE), а также этилен-пропилен-диеновых каучуков (EPDM). Более 30-ти лет выпускаются и эксплуатируются битумно-полимерные материалы двух видов – модифицированные атактическим полипропиленом (АПП) и стирол-бутадиен-стиролом (СБС).

Битумно-полимерные материалы последнего поколения, модифицированные сополимером  $\alpha$ -олефинов: этилена, пропилена и 1-бутена (ЭПБ), отличаются уникальными свойствами, соединяя лучшие характеристики материалов на основе АПП (теплостойкость, устойчивость к УФ-лучам) и СБС (высокую гибкость при низких температурах – до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В России научно-технические разработки современных отечественных материалов и технологий, в основном, базируются на достижениях в этой области зарубежных фирм, а производство – на закупках импортных технологических линий.

Выпускаемые на современном оборудовании, гидроизоляционные рулонные битумно-полимерные и полимерные материалы последнего поколения отличаются высокими эксплуатационными характеристиками и находят широкое применение в подземном строительстве.

Во второй половине 90-х годов XX века было налажено серийное производство высококачественных битумно-полимерных рулонных материалов (АПП и СБС модифицированных) на современном импортном оборудовании.

Был освоен также выпуск битумно-полимерного ЭПБ-модифицированного материала «Мостопласт». В качестве полимерной составляющей

применялись полиолефины типа «Вестопласт» фирмы «Degussa AG». В отличие от других битумно-полимерных материалов, «Мостопласт» практически не подвержен старению (по данным эксплуатационных испытаний ЦНИИПромзданий), что предопределяет его высокую долговечность.

Основным потребителем отечественных битумно-полимерных материалов (85 %) при строительстве новых подземных объектов является г. Москва и Московская область.

Так, для устройства паро- и гидроизоляции при реконструкции станций «Воробьевы горы», «Арбатская» и строительстве новой ветки Московского метрополитена (перегон и станция «Бульвар Дмитрия Донского»), а также на объекте «Москва-Сити» и тоннелях 3-го транспортного кольца были использованы битумно-полимерные материалы «Изопласт» и «Техноэласт».

Отечественные полимерные геомембраны, первоначально разработанные для гидроизоляции кровли, по сравнению с битумно-полимерными рулонными материалами имеют ограниченное применение в подземном строительстве.

По статистическим данным Госстроя РФ полимерные материалы (геомембраны) составляют около 1 % от общего выпуска рулонных гидроизоляционных материалов, в то время как в США и Европе – 10-15 %.

На сегодняшний день на строительстве «Москва-Сити» (изоляция коллектора и перекрытия станции мини-метро) и реконструкции торгового комплекса «Охотный ряд» на Манежной площади применяются полимерные материалы на основе ПВХ («Кровлелон» марки А и Г, разработанные НПК «Гидрол-Руфинг»), которые помимо гидроизоляционных свойств обладают также коррозионной стойкостью в агрессивных средах (рас-

Таблица 4

Вид покрытия	Защищаемая поверхность	Срок службы покрытия, лет	Основные преимущества покрытия	Основные недостатки покрытия
Битумное	Наружная	5-10	Низкая стоимость, доступность сырья	Низкая адгезия, хрупкость, быстрое старение
Каменно-угольное	Наружная	30-40	Низкая водонасыщаемость, высокая биостойкость и адгезия, доступность сырья	Высокая токсичность, сложная технология приготовления
Ленточное полимерное	Наружная	20-30	Простота нанесения, доступность сырья, возможность механизации	Нестабильность адгезии в процессе эксплуатации
Эпоксидное	Наружная, внутренняя	30	Высокая адгезия, химическая термостойкость и влагостойкость	Хрупкость со временем, низкая трещиностойкость
Полиэтиленовое	Наружная, внутренняя	30	Доступность сырья, стойкость к отслаиванию	Низкая адгезия
Комбинированное	Наружная, внутренняя	Более 50	Комплектность защиты, долговечность, прочность, высокая адгезия	Сложная технология нанесения, высокая стоимость

Таблица 5

Физико-химические свойства	Полиэтилен	Полипропилен	Поливинилхлорид	Фторопласт-4	Фторопласт-3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	920-930	900	1330-1430	2160-2260	2100-2160
Предел прочности, МПа					
• при растяжении	12-16	25-40	40-60	14-25	35-40
• при сжатии	12-15	60-70	80-100	12-20	50-60
• при изгибе	12-17	80-20	85-100	11-14	60-80
Относительное удлинение, %	500-600	350-800	10-25	250-500	20-40
Морозостойкость, °С	-70	-35	-20	-270	-195
Температурный предел применения, °С	80-110	140-150	60	260	120

творе кислот, щелочей, солей, бензине, маслах и др.).

ПВХ-мембраны российского производства (гидролист «М-1-ПВХ») были также опробованы на опытном участке перегонного тоннеля «Киевская – Парк Победы» Московского метрополитена, сооруженного с применением новоявстрийского метода (НАТМ).

Полимерные мембраны на основе EPDM, разработанные ЗАО «Поликром» по оригинальной технологии (электронно-химической вулканизации), применялись в качестве кровельного и гидроизоляционного покрытия на строительстве объектов в ряде городов России, в том числе, при устройстве гидроизоляции подвальных помещений металлур-

гического комбината в г. Старый Оскол и подвала жилого дома в г. Пушкино Московской области.

Опыт применения битумно-полимерных и полимерных гидроизоляционных материалов за рубежом (более 30 лет) и в России (около 10 лет) подтвердил их высокую эффективность.

При строительстве подземных сооружений закрытым способом в качестве гидроизоляции применяют высококачественные защитные покрытия, которые обуславливают надежную работу сооружения в течение расчетного срока его службы. Это связано, прежде всего, с тем, что обновление гидроизоляции невозможно в процессе эксплуатации подземных объектов, поэтому задача состоит в выборе наиболее долговременных защитных покрытий.

В последнее время все большее применение находят полимерные терморезистивные (эпоксидные, полиуретановые) или термопластичные (полиэтиленовые) покрытия, которые заменяют битумные и каменноугольные мастичные покрытия, т.к. они обладают малой механической прочностью, хрупкостью при низких и размягчением при высоких температурах.

Применяемые защитные покрытия должны удовлетворять жестким требованиям:

- быть сплошными;
- обладать низкой влагонепроницаемостью и малым влагопоглощением;

- иметь высокую прочность сцепления с материалом отделки подземного сооружения (адгезию);

- быть эластичными;
- обладать высокой химической и биологической стойкостью;

- равномерно распределяться по всей поверхности несущих конструкций подземного сооружения и придавать им более высокую твердость и износостойкость

Выбор гидроизоляционных покрытий для канализационных коллекторов диктуется условиями агрессивности среды, поэтому выбор изоляционных полимерных материалов следует осуществлять в соответствии со СНиП 3.04.03-85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии» и ГОСТ 9.049-75\* «Подземные сооружения. Общие технические требования».

Основные показатели гидроизоляционных покрытий подземных сооружений, их достоинства и недостатки приведены в табл. 4.

В табл. 5 показаны основные характеристики компонентов гидроизоляционных материалов, применяемых в городском подземном строительстве.

Производство и применение современных отечественных гидроизоляционных материалов с требуемыми свойствами увеличивает долговечность и эксплуатационную надежность городских подземных сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин А.А. Обоснование стратегии эксплуатации и разработка конформативных технологий ремонта конструкций подземных сооружений. – Диссертация

2. Моцанский Н.А., Путляев И.Е. Защита эпоксидными мастиками от коррозии железобетонных резервуаров для промышленных стоков. – М.: 1965

3. Читаишвили Т., Симоношвили Т., Чуаксели Н. Защита тоннелей от агрессивных вод. // В журн. «Метрострой», №8, 1979. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

Богачев Г.Г. – аспирант кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт» Московский государственный горный университет.

Статья представлена кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт» Московского государственного горного университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Б.А. Картозия.

