

УДК 699.82

В.М.ДИАНОВ, канд. техн. наук, председатель Совета директоров, *dianov@hydrois.ru*

А.В.САВИЧ, ген. директор, *monolit@hydrois.ru*

К.С.ПАШИН, гл. технолог

ООО НПП «Спецгидроизоляция «Монолит», Санкт-Петербург

С.А.ГРАФКИН, ген. директор

ООО «Гидроизол», Санкт-Петербург

V.M.DIANOV, *PhD in eng. sc., Chairman of Board of directors, dianov@hydrois.ru*

А.В.САВИЧ, *general director, monolit@hydrois.ru*

K.S.PASHIN, *main technologist*

«Specgidroizolazia «Monolit», Санкт-Петербург

S.A.GRAFKIN, *general director*

OY «Gidroizol», Санкт-Петербург

ОПЫТ РАБОТ ПО ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Представлен краткий обзор современных технологий гидроизоляции подземных сооружений. Изложены результаты собственных разработок в этой области, в частности, гидроизоляция подземных сооружений с внутренней металлизацией; обустройство деформационных швов при строительстве подземного комплекса ГЭС. Представлен опыт работ по восстановлению гидроизоляции в тоннелях и вентиляционных шахтах на объектах метрополитена, автодорожных тоннелей и др.

Ключевые слова: гидроизоляция, упрочнение, герметизация, технология нагнетания.

EXPERIENCE OF WORKS ON THE WATERPROOFING OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

The brief review of modern technologies of a waterproofing of underground constructions is submitted. Results of own development in this area, in particular, a waterproofing of underground constructions with internal metal isolation are stated; arrangement of deformation seams at construction of underground complex hydroelectric power station. Experience of works on restoration waterproofing in tunnels and ventilating shafts on objects of Petersburg underground, road tunnels etc.

Key words: waterproofing, hardening, hermetic sealing, technology of forcing.

Общеизвестно, что в условиях современного информационного общества темпы научно-технического прогресса постоянно возрастают. Это выражается, в том числе, в интенсивности появления новых технологий, значительном сокращении времени, проходящего от их теоретической разработки до промышленного внедрения. За прошедшие 20 лет существенное развитие получили технологии подземного строительства. Появились новые технологии, обеспечивающие безосадочную проходку в условиях плотной городской застройки. Так, например, в

историческом районе Санкт-Петербурга вблизи здания Адмиралтейства с предварительным закреплением неустойчивых грунтов методом струйной цементации был пройден наклонный ход станции метро «Адмиралтейская». Стало возможным сооружать подземные паркинги и другие заглубленные объекты в условиях плотной городской застройки.

Новые масштабы освоения подземного пространства диктуют особые требования к гидроизоляции подземных сооружений. При строительстве подземных паркингов, переходов, торговых центров и прочих социаль-

ных объектов требуется создание абсолютно сухих условий эксплуатации. Если до недавнего времени считалось, что основные водопритоки и фильтрацию воды через обделку сооружения можно ликвидировать путем цементирования, а мелкие протечки дренировать, то в условиях строительства «подземного города» этого недостаточно.

Свой вклад в развитие современных технологий гидроизоляции подземных сооружений внесли специалисты НПП «Спецгидроизоляция «Монолит». Еще в 90-х годах прошлого века на основе исследований В.М.Дианова в области смолоинъекционного упрочнения скальных пород [2, 3], выполненных на базе Кольского филиала Академии наук СССР, были разработаны технологии инъекционной гидроизоляции с применением отечественных одно- и двухкомпонентных полиуретановых составов.

Хорошим примером использования технологии инъектирования полиуретановых составов может служить восстановление герметичности металлоизоляции подземных сооружений, в частности, строительство перегонных тоннелей метрополитена на перегоне «Проспект Просвещения – Парнас» в Санкт-Петербурге. Из-за высокой водонасыщенности грунтов, наличия плавунов проходка велась в условиях замораживающей системы, состоящей из металлических замораживающих колонн. Внутренняя облицовка тоннеля выполнялась из листовой стали толщиной 4-8 мм. Известно, что сварочные работы в условиях обводненности вести непросто и качественно выполнить сварной шов удается далеко не всегда. Из-за перенасыщенности шлаком он получается пористым и водопроницаемым.

Для обеспечения гидроизоляции в этих условиях потребовалось разработать технологию инъектирования полиуретановыми композициями за металлическую обделку тоннеля. Попытка инъектировать полимерную композицию только вдоль сварных швов не привела к положительному результату, так как между металлическим листом и бетоном имел место заполненный водой зазор 0,5-2 мм. Чтобы связать воду за металлоизоляцией, потребовалось выполнять

инъектирование по всей площади. В результате разработанной технологии (конструкции инъекторов, режима нагнетания, состава полиуретановой композиции) задача была решена и тоннель был сдан в эксплуатацию.

Технология нагнетания за металлическую обделку в последующем использовалась и на других объектах, например, на Кировском заводе перед установкой многотонного оборудования на железобетонный фундамент, облицованный листовым металлом толщиной 8 мм, был ликвидирован зазор в 0,2-0,5 мм между металлом и фундаментом.

В конце девяностых годов прошлого века, когда полиуретановые композиции стали активно использоваться для гидроизоляции подземных сооружений и закрепления грунтов, по нашей инициативе и при непосредственном участии, в лаборатории высоких давлений и физики горных пород при Санкт-Петербургском государственном горном институте были проведены исследования деформационно-прочностных характеристик трех типов отечественных полиуретановых материалов: однокомпонентной системы, двухкомпонентной и двухкомпонентной с цементным наполнителем [4]. Образцы имели цилиндрическую форму и изготавливались путем заливки в специальные металлические контейнеры. После полимеризации образцы выпрессовывались. Усилия выпрессовки соответствовали величине касательных напряжений, возникающих между материалом и стенкой корпуса формы. Эти напряжения являлись совокупной характеристикой, отражающей адгезию полимера к гладкой металлической поверхности и распору полимеризации. После выпрессовки прирост диаметра составлял 1,5-3 %. Изготовленные образцы испытывались в условиях одноосного и трехосного сжатия. Все три типа материалов показали способность восстанавливать продольные и попечевые размеры после многократного повторного нагружения. Результаты выполненных исследований позволили рекомендовать использовать полимерные композиции (и в первую очередь с цементным наполнителем) для формирования деформационных швов при строительстве подземных сооружений.

Говоря о деформационных швах, нельзя не вспомнить наши разработки по обустройству антисейсмических швов в подземных выработках при строительстве Бурейской ГЭС. В основу их конструкции были положены блоки, изготавливаемые в специальной герметичной опалубке под высоким давлением на основе полиуретановой смолы с наполнителем в виде портландцемента М-400, названные «Гидропласт» (не путать с одноименным обмазочным гидроизоляционным составом). Благодаря высоким прочностным характеристикам материала и его упруго-эластичным свойствам конструкция устраиваемых по контуру крепи антисейсмических швов из «Гидропласта» обеспечила возможность восстановления собственных продольных и поперечных размеров конструкции после сейсмического воздействия. Для обеспечения герметичности швов был предусмотрен монтаж инжектосистемы с последующим нагнетанием через нее специальных инъекционных составов.

Не менее интересные задачи специалистам предприятия приходилось решать при ремонте существующих деформационных швов. В недалеком прошлом широко была распространена практика использования при устройстве деформационных швов антисептированных досок. О герметичности таких швов говорить не приходится. Сложность при их ремонте состоит в том, что большинство герметиков, которые могли быть использованы в деформационных швах, должны наноситься на сухую поверхность. На сегодняшний день разработаны герметики, которые могут применяться при наличии влаги, но и они не работают в условиях активной фильтрации, поскольку не способны сразу после нанесения выдержать высокое гидростатическое давление. Для решения этой задачи успешно используется инъектирование полиуретановых смол и акрилатных гелей. При этом правильно подобранный инъекционный состав гарантирует герметичность конструкции на длительный период.

Нарушение гидроизоляции деформационных швов может быть связано с различными причинами и далеко не всегда определено использованием устаревших технологий. Так, например, при строительстве

тоннеля на участке Кронштадт – Бронка комплекса С1 защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений в деформационных швах, обустроенных по западно-европейской технологии по контакту металл – бетон появились протечки. «Метрострой» привлек нашу фирму для герметизации сложной конструкции и, с помощью разработанных ранее технологий, задача была успешно решена.

Благодаря физико-химическим свойствам современных инъекционных составов, они успешно используются специалистами предприятия при восстановлении гидроизоляции подземных объектов: коллекторов, транспортных тоннелей, вентиляционных шахт, очистных сооружений, подземных паркингов и др. Каждый объект требует особого подхода, периодически возникают задачи, требующие индивидуальных технологических решений. Так, при производстве работ по гидроизоляции в камере съездов и тоннелях, ведущих в электродепо «Автово» Петербургского метрополитена предприятие столкнулось с необычной проблемой: по нескольким деформационным швам были отмечены протечки внутрь тоннеля жидкости с высокой концентрацией растворенного битума, ранее выполнявшего функцию заполнителя шва. В сложившейся ситуации использование несовместимых с битумом материалов для ликвидации протечек было исключено. В основу разработанной технологии была положена предварительная герметизация швов нагнетанием двухкомпонентного полиуретанового состава. Прекращение фильтрации битум-содержащей жидкости обеспечило возможность производства дальнейших работ по обустройству шва: его очистке, ремонту бетона по рабочим поверхностям и запрессовке антиадгезионной прокладки «Вилатерм» с укладкой в шов специального герметика (см. рисунок).

Разработанные на предприятии технологии успешно применяются при восстановлении гидроизоляции сборной тюбинговой обделки шахт и тоннелей Петербургского метрополитена. Для инъектирования преимущественно применяются двухкомпонентные и однокомпонентные гидроактивные полиуретаны, расширяющиеся в ходе полимеризации и обеспечивающие предва-

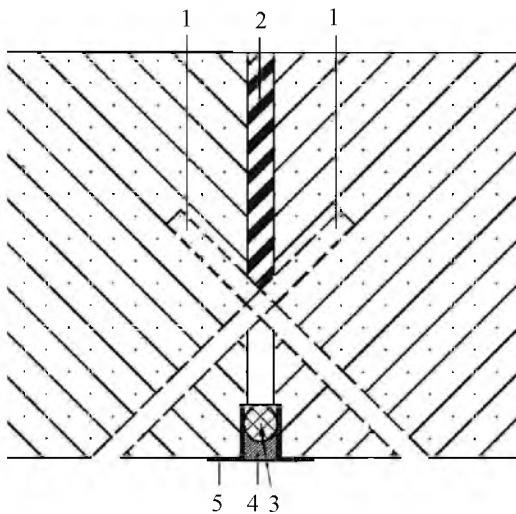


Схема ремонта деформационного шва с протечками битум-содержащего заполнителя

- 1 – скважина для инъектирования полиуретановой смолы;
- 2 – битум-содержащий заполнитель шва;
- 3 – «Вилатерм»;
- 4 – двухкомпонентный герметик;
- 5 – ремонтный состав

рительно напряженную герметизацию швов тюбинговой обделки, устойчивую к длительным вибрационным нагрузкам в сочетании с высоким гидростатическим давлением – условием, свойственным подземным транспортным объектам глубокого заложения.

Полиуретаны являются диэлектриками, они не агрессивны к металлу и бетону, имеют высокий модуль упругости, высокую износостойкость, стойкость к воздействию низких температур, масла, агрессивных химических сред. Совокупность этих свойств делает полиуретановые инъекционные составы незаменимыми при восстановлении гидроизоляции подземных сооружений. Но, несмотря на все перечисленные преимущества, очевидно, что надежная гидроизоляция может быть обеспечена только при комплексном подходе, не ограничивающемся применением какого-либо одного вида материала. Помимо полиуретанов, для инъектирования предприятие использует акрилатные гели, составы на основе бентонита, микроцементов и портландцемента с модифицирующими добавками. Широко применяются обмазочные и напыляемые материалы, ремонтные и водоблокирующие составы ведущих иностранных и отечественных производителей.

Высокую надежность на практике доказала современная технология герметизации

сборной железобетонной обделки с использованием тюбингов, оснащенных по контуру наклеиваемым эластомерным уплотнительным профилем. Эта технология применена, в частности, при строительстве тоннельных комплексов трассы «Адлер – Альпика-Сервис». Аналогичная технология герметизации обделки была применена при проходке тоннеля на участке размыва между станциями «Площадь Мужества» – «Лесная» Петербургского метрополитена, где предприятия выполнялась гидроизоляция шахты спуска и монтажной камеры тоннеле-проходческого комплекса. Ремонтопригодность устроенной данным способом гидроизоляции может быть обеспечена применением инъекционных технологий, с помощью которых возможно надежное восстановление герметичности обделки в случае повреждения эластомерного профиля в ходе транспортировки или монтажа тюбингов.

В настоящее время немецкой фирмой «Феникс Диштунгтехник» продвигается технология герметизации железобетонных тюбингов с интегрированным уплотняющим профилем [5]. Такой профиль устанавливается в опалубку перед заливкой бетона, что позволяет исключить трудозатраты на наклеивание профиля к готовому тюбингу. Фактически эта технология близка к широко распространенной в настоящее время технологии устройства гидрошпонок. Как показывает практика, нарушение герметичности гидрошпонок довольно часто происходит из-за нарушений в контактной зоне гидрошпонка-бетон: зачастую нарушается положение гидрошпонки при монтаже опалубки, вибрировании бетона, либо наоборот, из опасений повредить гидрошпонку бетон в этой зоне вибрируется недостаточно. Изготовление тюбинговой обделки в условиях цеха позволяет избежать этих недостатков, и мы надеемся, что описанная технология оправдает возложенные на нее ожидания и гарантирует надежную гидроизоляцию тоннелей, проходимых автоматизированными щитовыми комплексами.

При строительстве тоннелей горным способом устройство гидроизоляции часто основывается на применении эластичных напыляемых и листовых мембран. Мембра-

на входит в состав конструкции монолитной железобетонной обделки. Листовая или рулонная мембрана обычно монтируется по черновой крепи и затем закрывается чистовым бетоном постоянной обделки. Современные листовые мембранны характеризуются долговечностью, стойкостью к агрессивным средам, они способны выдерживать высокое гидростатическое давление. К несомненным преимуществам листовых мембран можно отнести то, что требования к подготовке поверхности перед их монтажом минимальны. Возможен монтаж мембранны поверх активных, в том числе напорных течей. Слабым местом такого способа является то, что работоспособность листовой мембранны достигается лишь при высоком качестве герметизации швов и элементов ее крепления в процессе монтажа, кроме того, листовая мембрана подвержена механическим повреждениям при последующих работах вплоть до заливки слоя бетона, закрывающего мембрану. В ходе работ в пространство между мембраной и черновой крепью могут попасть инородные предметы: обрезки арматуры, сварочные электроды или просто острые камни, которые при прижатии мембранны чистовым бетоном приводят к ее проколу и появлению течей.

Подобную проблему наша организация решала, в частности, в 2001 г. при ремонте гидроизоляции тоннеля № 2 автодороги Джубга – Сочи на участке обхода г. Сочи, известного как «Мацестинский». После завершения бетонирования чистовой обделки в отдельных местах были обнаружены течи по холодным швам, что свидетельствовало о наличии повреждений гидроизоляционной мембранны. Для ликвидации этих протечек «Южная горно-строительная компания» обратилась к нашим специалистам. Вдоль фильтрующих холодных швов было предпринято бурение шпурков и инъектирование однокомпонентной полиуретановой смолы в тело железобетонной обделки. Нагнетание производилось при давлении порядка 10 атм. При контакте с водой происходила реакция полимеризации состава, сопровождаемая увеличением материала в объеме. В результате фильтрационные каналы были

загерметизированы предварительно напряженным полимером, обладающим упруго-эластичными свойствами, исключающими его разрушение или образование пустот под воздействием динамических нагрузок при эксплуатации тоннеля.

По сравнению с листовыми напыляемые мембранны обладают рядом несомненных преимуществ. Они позволяют обойтись без стыковочных швов, не уступают по стойкости к агрессивным средам, обеспечивают надежную адгезию к поверхности даже при ее сложных геометрических формах. Благодаря равномерной адгезии достигается надежная герметизация в местах установки закладных элементов, не происходит площадного распространения воды по контакту мембранны с основанием, в результате значительно снижается вероятность возникновения протечки при локальном повреждении мембранны.

Отметим высокую эластичность некоторых типов напыляемых мембранны. Используемые НПП «Спецгидроизоляция «Монолит» битумно-латексные эмульсии холодного напыления обладают способностью к растяжению без разрыва до 1000 %, это позволяет обеспечить герметичность при возможном трещинообразовании или осадках конструкции. К плюсам этого материала также можно отнести высокую производительность при нанесении: звено из трех человек может наносить до 1200 м² покрытия за смену. К недостаткам битумно-латексных напыляемых мембранны относятся требования к подготовке поверхности – нельзя наносить материал на активные течи. Кроме того, мембрана, наносимая по черновой крепи, должна обязательно быть плотно прижата чистовой тоннельной обделкой, поскольку, несмотря на отличную адгезию, высокая эластичность не позволяет мембранны самостоятельно выдерживать давление воды «на отрыв». В отсутствие прижимающего слоя поступающая из заобделочного пространства вода создает в мембранны пузьри диаметром до 300-400 мм, которые, лопаясь, открывают каналы фильтрации внутрь выработки. Для нанесения мембранны по черновой крепи требуется выполнить предварительную гидроизоляцию, например, нанесением торкрет-

бетона с локальным отведением активных течей в дренажную систему и последующим прижатием устроенной гидроизоляции чистовой обделкой. Такая технология применения напыляемой мембранны может быть использована при проходке тоннелей новоавстрийским методом [1].

Одним из удачных вариантов применения напыляемых битумно-латексных мембран является устройство гидроизоляции при строительстве подземных паркингов зданий, возводимых на свайном поле. Нанесение гидроизоляции выполняется по бетонной подготовке перед заливкой плиты основания. Благодаря описанным свойствам материала технологично решается важная задача – обеспечение герметичности узлов прохода свай через слой гидроизоляции.

В транспортных тоннелях напыление битумно-латексных мембран использовалось НПП «Спецгидроизоляция «Монолит», например, при восстановлении гидроизоляции тоннеля автодороги Адлер – Красная Поляна. Тоннель, построенный в 90-х годах прошлого века, фильтровал воду как по холодным швам, так и по многочисленным участкам пористого бетона монолитной железобетонной обделки. Наряду с напылением мембранны на основе битумно-латексной эмульсии холодного отверждения, в ходе работ был задействован широкий спектр других гидроизоляционных технологий: произведено нагнетание цементного раствора с модифицирующими добавками для ликвидации обводненных пустот в заобделочном пространстве, выполнено упрочнение коррозированных участков путем нагнетания микроцементов, произведена герметизация рабочих швов бетонирования нагнетанием полиуретановых смол. Поверхностные дефекты ликвидировались при помощи специальных ремонтных и водоблокирующих составов, использовалась обмазочная гидроизоляция.

Технологии гидроизоляции подземных сооружений постоянно совершенствуются, разрабатывается новое оборудование и материалы. Однако ни одна технология не является универсальной. Горно-геологические ус-

ловия строительства каждого подземного сооружения индивидуальны, различаются режимы их эксплуатации и предъявляемые технические требования. Только индивидуальный подход к гидроизоляции каждого подземного сооружения, основанный на богатом практическом опыте и подкрепленный возможностью применения широкого спектра современных технологий и материалов, может обеспечить высокое качество и многолетнюю надежность выполненных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голицынский Д.М. Еще раз о применении набрызгобетона и новоавстрийского метода (НАТМ) в отечественном тоннелестроении // Метро и тоннели. 2011. № 3.
2. Дианов В.М. Смолоинъекционное упрочнение тонкотрециноватых скальных массивов / В.М.Дианов, Ю.Р.Катков; КНЦ АН СССР. Апатиты, 1988.
3. Дианов В.М. Поддержание горных выработок в скальных породах на больших глубинах / В.М.Дианов, Ю.Р.Катков; КНЦ АН СССР. Апатиты, 1990.
4. Результаты экспериментальных исследований деформационно-прочностных свойств тампонажных полиуретановых композиций, используемых для гидроизоляции тоннелей метрополитенов / Б.Г.Тарасов, О.А.Ширкес, Ю.А.Филюнов, В.М.Дианов // Подземный город: геотехнология и архитектура: Тр. междунар. конф. СПб, 1988.
5. Хефт Х. Эластомерные уплотнители для тоннельной обделки. Современное состояние и перспективы / Х.Хефт, Х.Гутшмит, А.Динер // Метро и тоннели. 2011. № 4.

REFERENCES

1. Golitsinsky D.M. Once again about application of spray-concrete and new Austrian method (NATM) in domestic construction of tunnels // Underground and tunnels. 2011. N 3.
2. Dianov V.M., Katkov J.R. Hardening by resin injection finely fissured rock massifs / KSC AS the USSR. Apatity, 1988.
3. Dianov V.M., Katkov J.R. Maintenance of mountain developments in rocky breeds on the big depths / KSC AS the USSR. Apatity, 1990.
4. Result of experimental researches deformation-strength properties polyurethane plugging compositions for waterproofing of tunnels undergrounds. / B.G.Tarasov, O.A.Shirkes, J.A.Filonov, V.M.Dianov // Works of the International conference «Underground city: geotechnology and architecture». Saint Petersburg, 1988.
5. Hoft H., Gutschmidt H., Diener A. Elastomeric seals for tunnel support. Modern condition and prospects // Underground and tunnels. 2011. N 4.