

ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ШАХТНЫХ, ПОДЗЕМНЫХ И ЗАГЛУБЛЕННЫХ БЕТОННЫХ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Наведені особливості розробки і застосування спеціальних технологій підвищення водонепроникності шахтних підземних і заглиблених бетонних залізобетонних і комбінованих об'єктів. Наведені приклади використання нових матеріалів.

INCREASE OF WATERTIGHTNESS OF MINE, UNDERGROUND AND DEEPENINGS CONCRETE, REINFORCED-CONCRETE AND COMBINED OBJECTS

The features of development and application of the special technologies of increase of watertightness of mine underground and deepenings concrete reinforced-concrete and combined objects are resulted. The examples of the use of new materials are resulted.

В настоящее время в развитых странах инвестиции в строительство и ремонт зданий и сооружений находятся в соотношении 1:1 (50 на 50%). Наблюдается тенденция уменьшения эксплуатационных затрат. Например, на объектах транспортного строительства в развитых странах планируется к 2050 году сократить эксплуатационные расходы до 40%. В кризисных ситуациях относительные величины инвестиций в ремонт сооружений по сравнению с инвестициями в строительство возрастают и доходят до соотношения 4:1. Например, в Швейцарии в 80-х годах инвестиции в ремонт и строительство соотносились как 70% к 30%.

Если рассматривать перечисленные величины в абсолютных значениях, то можно отметить, что на ремонт железобетонных конструкций в развитых странах тратится до 3-4% валового продукта. В Великобритании, например, 40% общих расходов на строительство уходит на ремонт и эксплуатацию сооружений, что составляет 4% валового национального продукта [1, 2, 3].

Основными факторами, влияющими на долговечность конструкций и сооружений, особенно в странах с резкоконтинентальным климатом, являются воздействия воды, водяного пара, мороза, солей-антиобледенителей, высоких температур и т.п. Для подземных сооружений и горных выработок дополнительно существенным факторами влияния являются горное давление и напорные воды.

По данным многолетних исследований автора, до 95% подземных и заглубленных сооружений имеют отказы по гидроизоляции, которые происходят на ранней стадии эксплуатации и способствуют ускоренному износу железобетонных конструкций. Уменьшить расходы на ремонт сооружений можно повысив качество проектирования и строительства, разработав и используя правильную стратегию эксплуатации. Но во всех случаях защита сооружений от негативного воздействия окружающей среды может иметь первостепенное значение.

Для железобетонных конструкций такими видами защиты могут быть: первичная защита, которая обеспечивается оптимальным конструктивным решени-

ем, подбором состава бетона; вторичная защита, которая связана с защитой конструкций от воздействия среды с помощью специальных мероприятий (защитные покрытия, ингибиторы коррозии, катодная защита и др.) [4]. Учитывая количество эксплуатируемых сооружений с отказами по гидроизоляции, особое значение приобретает выполнение таких работ в процессе выполнения капитальных ремонтов и реконструкции.

В зависимости от назначения сооружения гидроизоляционная система должна либо препятствовать попаданию воды в сооружение, либо сохранять воду внутри него.

К первому типу сооружений относятся автодорожные и железнодорожные тоннели, подземные автостоянки, подвалы, хранилища, капитальные горные выработки и пр. Ко второму - водонапорные башни, гидротехнические тоннели, каналы, плотины, бассейны, очистные сооружения и т.п.

Материалы, применяемые для устройства мембран, могут быть:

- полностью непроницаемыми для воды и водяного пара;
- частично непроницаемыми;
- частично проницаемыми.

К первому типу материалов относятся металл, полиэтилен, стекло и другие, полностью непроницаемые материалы. Ко второму типу материалов относятся материалы, в той или иной мере обладающие водопоглощением. Величина ее может быть незначительной - 0,5-2% или значительной - более 5-8%. Это различные типы рулонных, листовых и безрулонных органических и минерально-органических материалов. Капиллярно-пористые материалы (глины, бетон и различные минеральные обмазки) принадлежат к третьему типу.

Подземные промышленные сооружения различного назначения, заглубленные помещения жилых зданий, подземные гаражи, пешеходные переходы, галереи и другие заглубленные и подземные сооружения нередко подвергаются подтоплению. Причины подтопления и появления сырости - атмосферные осадки, грунтовые воды, поверхностные стоки вод с окружающих территорий, пары воды в грунтах и породах. Кроме этого возможно влияние техногенных источников - утечек из бассейнов, резервуаров, очистных сооружений, отстойников, водопроводов, канализации. Действие техногенных источников подтопления, как в процессе строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений накладывает на действие естественных источников, интенсифицируя процесс увлажнения и подтопления территории [5]. Эти явления усугубляются в плотной городской застройке из-за барражирования грунтовых вод подземными частями зданий и сооружений.

Для защиты сооружений от подтопления традиционно предусматривается устройство гидроизоляционной системы, включающей гидроизоляционную мембрану, дренаж в виде отсыпки песчаной призмы и дренажных труб с фильтрующими обсыпками из песчано-гравийной смеси, керамзита и других материалов или оберток из искусственных волокнистых материалов. В ряде случаев применяют пластовый дренаж в виде слоя щебня или гравия с системой отво-

дящих трубофильтров. Однако устройство такого типа дренажей не всегда эффективно.

Гидроизоляционная мембрана, как правило, выполняется из обмазочных или рулонных битумных и битумно-полимерных материалов и служит не более 10-15 лет. Устройство пристенного дренажа из сыпучих материалов связано с трудоемкими работами по отрывке котлована на необходимую глубину и ширину, а также отсыпке фракционированных песков, щебня, гравия. Определенные трудности связаны с качественным подбором фильтрующих материалов и большим объемом применяемого фракционированного песка и гравия. Велики при этом и транспортные расходы.

В связи с этим качество водоотводящих конструкций зачастую остается низким, ухудшая тем самым и качество работы гидроизоляционной системы. Наибольшее подтопление и нарушение тепло-влажностного режима в подземных сооружениях наблюдается в весенний период, когда образующиеся на поверхности земли талые воды не могут проникнуть в дренажную систему через водонепроницаемый экран еще не оттаявшего грунта. Вся влага в этом случае начинает просачиваться внутрь помещений через стены здания. Даже при небольших дефектах гидроизоляционной мембраны вода проникает в подземное сооружение. Отсутствие теплоизоляции, защищающей гидроизоляционную мембрану от разрушения, ускоряет выход последней из строя.

С целью улучшения качества строительства и условий эксплуатации подземных сооружений в последнее время были разработаны различные типы конструкций вертикальных (пристенных) и горизонтальных пластовых дренажей, позволяющие значительно сократить использование песчано-гравийных отсыпок, а также увеличить водопрпускную способность дренажной системы и обеспечить отвод грунтовых и поверхностных вод от конструкции. Надежность гидроизоляционной системы сооружения в этом случае сохраняется на высоком уровне. Часто для этих целей используются дренажные плиты из фильтрационных материалов.

Обладая определенными преимуществами перед традиционными дренажами из сыпучих материалов, конструкции из фильтрационных бетонов имеют существенные недостатки - большую массу, хрупкость, трудоемкость при монтаже. Наличие пленки связующего вокруг зерен заполнителя увеличивает шероховатость поверхности поровых каналов, создает условия для образования тупиковых пор, наличие которых при движении воды приводит к образованию турбулентных потоков и снижению общей водопрпускной способности. Кроме того, плиты из цементных бетонов требуют коррозионной защиты от агрессивного воздействия подземных вод.

Крупнопористые плиты на основе фильтрационного пенополистирола или пенополиэтилена имеют значительные преимущества перед фильтрационным бетоном: малую массу ($\rho_0 = 18\text{-}20 \text{ кг/м}^3$), высокую водопрпускную способность (K_f более 1000 м/сут), стойкость к агрессивным грунтовым водам. Однако боковое давление грунта обратной засыпки вызывает сжатие фильтрационных плит, которое увеличивается с глубиной заложения, при этом существенно

снижается их водопропускная способность. Прочность при 10%-ном сжатии фильтрационного полистирола составляет всего 0,08–0,09 МПа. Кроме того, в связи с хорошо развитой открытой пористостью их поверхностные слои кольматируются частицами грунта. Вследствие этих процессов эффективность работы плит падает на 30–80%.

Наличие в грунтах илистых и глинистых частиц приводит к заполнению фильтрующих полостей, снижению дренажной способности плит. Для обеспечения длительной работы в дренажах используют геотекстильные материалы, которые, фильтруя воду, задерживают частицы грунта и препятствуют их проникновению в дренажную систему. Однако, как показывает опыт, даже такая конструкция не исключает засорения дренажной системы.

Разнообразие дренажных материалов, уникальность их технических характеристик и многофункциональность при применении позволяют использовать эти материалы не только в системах наружного дренажа.

К особому типу следует отнести систему внутреннего дренажа помещений зданий и сооружений, расположенных ниже поверхности земли. Как правило, такие системы устраивают по стенам и днищу (полу) защищаемого помещения при ремонте или реконструкции эксплуатируемого помещения. Они могут также монтироваться и в процессе возведения новых сооружений. При этом системы внутреннего дренажа являются дополнительной системой защиты эксплуатируемых помещений от внешних воздействий.

Актуальность разработки таких систем и необходимость их применения вызваны целым рядом причин. Зачастую только подобная система может решить возникшую проблему по защите и изоляции помещения, обеспечении требуемых условий эксплуатации.

Совершенно естественно, что в процессе длительной эксплуатации любое подземное или заглубленное сооружение накапливает повреждения и дефекты различного вида и степени. Так, отказ или некачественное исполнение наружной гидроизоляционной мембраны приводят к протечкам воды внутрь помещения через ограждающие конструкции. Эта же причина может привести к намоканию элементов ограждающих конструкций за счет капиллярного подсоса влаги из грунта. Более тяжелая ситуация для рассматриваемого явления складывается в том случае, когда в конструкцию поступает не вода, а другие агрессивные жидкости, например растворы солей, кислот, щелочей или нефтепродуктов. Коррозионные повреждения при таких агрессивных воздействиях намного серьезнее, и, соответственно, решение по их устранению и технология ремонта значительно сложнее.

Кроме того, неправильные условия эксплуатации подземного сооружения, несоблюдение требуемого температурно-влажностного режима очень часто приводят к образованию конденсатной влаги на внутренних поверхностях, увлажнению ограждающих конструкций, появлению плесени и грибков. Отсутствие или недостаточная эффективность приточно-вытяжной вентиляции лишь усугубляют сложившуюся ситуацию.

В описанных случаях наиболее правильным и рациональным решением является вскрытие дневной поверхности и восстановление или усовершенствование системы наружной гидроизоляции. Однако в реальных условиях выполнение ремонтно-восстановительных работ снаружи подземного сооружения зачастую оказывается технически невозможным. Очень часто это связано с законченным обустройством окружающей территории, плотной застройкой или другими особенностями объекта. В таких случаях остается единственная возможность выполнения ремонтно-восстановительных работ изнутри помещения.

Устройство гидроизоляционной мембраны по внутренним поверхностям стен и днища с использованием материалов на минеральной основе в подобной ситуации не всегда бывает эффективным. Во-первых, гидроизоляционное покрытие будет эксплуатироваться в условиях негативного давления воды, что при недостаточной адгезии материала к основанию может привести к отслоению и повреждению покрытия. Во-вторых, при коррозионном загрязнении материала несущих конструкций очень трудно обеспечить требуемое сцепление материала покрытия и основания.

В-третьих, нанесение на внутреннюю поверхность конструкции гидроизоляционных покрытий может усилить эффект капиллярного поднятия влаги по элементам конструкции, что приведет к увлажнению вышерасположенных элементов и помещений. В-четвертых, материалы на минеральной основе создают "жесткую" систему гидроизоляции, которая склонна к трещинообразованию даже при незначительных деформациях сооружения. Кроме того, являясь паропроницаемыми, они часто не обеспечивают требуемой влажности в сооружении.

При обустройстве внутренней гидроизоляционной защиты из рулонных материалов помимо отмеченных трудностей придется столкнуться с необходимостью выполнения прижимной стенки и соответствующего уменьшения полезного объема помещения.

Как показывает многолетний опыт ремонта и обустройства подземных и заглубленных помещений в условиях незначительных притоков воды, наилучших результатов и с наименьшими затратами можно достичь, если предусмотреть по полу и по стенам создание "фальш-стены" с вентилируемыми за счет естественной конвекции воздушным зазором - внутреннего дренажа. Такая система рекомендуется для защиты внутреннего эксплуатируемого пространства подземных помещений от локального проникновения воды, намокания ограждающих конструкций и т.п.

Сбор воды из выполненной системы внутреннего дренажа осуществляется, как правило, в специально оборудованном приемке. Место расположения приемка подбирается в соответствии с планировкой защищаемого помещения. Габаритные размеры приемка определяются в зависимости от ожидаемого водопритока. Дренируемая вода может поступать в приемок по дренажному лотку, через дренажную трубу или непосредственно через воздушный зазор днища, сформированный дренажным полотном.

Для удаления воды из приямка устанавливают дренажный насос с поплавком, который перекачивает воду в систему канализации.

Пристенный пластовый дренаж в сочетании с горизонтальным трубчатым дренажом применяют при необходимости защиты от подтопления подземными водами заглубленных и подземных сооружений, располагаемых в суглинистых и глинистых грунтах.

Пластовые горизонтальные дрены применяют для защиты зданий и сооружений при наличии под ними мощного водоносного пласта. Особенно эффективно их использование в слабопроницаемых и слоистых грунтах, где линейные трубчатые дрены не дают должного эффекта. Кроме того, устройство пластовых дренажей позволяет предохранять конструкции не только от гравитационной, но также и от капиллярной влаги.

Анализ существующих в настоящее время дренажных систем позволяет сделать вывод о том, что самую надежную защиту зданий и сооружений обеспечивает устройство пристенного и горизонтального пластового дренажа с использованием геокомпозитов в сочетании с трубчатым дренажом. Геокомпозиты различных конструкций возможно применять при любом типе грунта и глубине заложения сооружения до 15-20 м, а также в условиях воздействия агрессивных грунтовых вод.

Кроме того, геокомпозиты весьма эффективны при устройстве внутреннего дренажа зданий. Это исключает возможность образования конденсата на стенах и в углах помещения, обеспечивает надежную защиту эксплуатируемого сооружения от попадания влаги и сохраняет внутренние конструкции сухими в процессе всего периода эксплуатации объекта.

Анализируя существующие методы защиты подземных сооружений от подтопления, можно сделать вывод, что из всего многообразия разработанных конструкций пристенных и горизонтальных пластовых дренажей они не исключают фильтрацию через бетонные и железобетонные элементы конструкции.

Особенностью работы подземных сооружений и капитальных горных выработок является весьма продолжительный срок их службы, поэтому при их эксплуатации имеет место физический износ и моральное старение бетона или железобетона, накопление в них различных дефектов, что приводит к разрушению элементов конструкции.

Наличие во вмещающих породах водоносных горизонтов усложняет сооружение объектов и негативно проявляется при их эксплуатации. Вскрытие толщи пород выработками вызывает дренирующее действие на водоносные горизонты, а наличие полости выработки является причиной миграции вод, сопровождающихся образованием зон гидроразгрузки, водопонижения и интенсификацией водопритоков в капитальные горные выработки с выносом литосреды. Эти процессы существенно усиливаются в условиях гравитационных воздействий при проявлении горного давления в выработках, когда под влиянием воды понижается прочность пород, развиваются реологические эффекты в массивах. Проявление адсорбционного явления существенно снижает сцепление пород по слоям пород, а уменьшение напоров в водоносных горизонтах приводит к сжа-

тию и осадке пород. В совокупности все это интенсифицирует нагрузки на крепь, смещение пород в полость выработок и фильтрацию воды через бетонные и железобетонные конструкции крепи. Таким образом, совместное взаимовлияние на охранную выработку гравитационных и гидравлических факторов способствует развитию флюидодеструктивных явлений, как в породном массиве, так и в крепи, что неизбежно сопровождается коррозией бетона и арматуры, уменьшением грузонесущей способности и водонепроницаемости материала крепи [6].

Работы по выполнению гидроизоляции на подземных объектах осложняются еще и тем, что практически отсутствует возможность вскрытия внешней поверхности сооружения, а работы по внутренней поверхности неэффективны.

Анализ изложенного выше показывает, что необходим комплекс дополнительных специальных строительных работ для устранения наблюдаемых водопритоков и фильтрации в подземные сооружения. Он может включать: тампонаж закрепного пространства в зонах выявленных неплотностей контакта бетонной конструкции с налегающей толщей и в зонах разжижения прилегающего к оболочке грунта; очистку поверхности, снятие разрушенного приповерхностного слоя бетона; гидроизоляцию внутренней поверхности путем выполнения многослойного набрызгбетонирования с использованием специальных добавок. В ответственных конструкциях и при наличии трещин при толщине бетонной конструкции более 30 см выполняется цементация и контрольная цементация бетона. При заложении объекта в скальных грунтах – выполняется цементация и контрольная цементация прилегающего массива.

Тампонаж закрепного пространства выполняют цементно-песчаными растворами. Максимальный эффект достигается при выполнении приконтурного тампонажа, когда нагнетаемый раствор распространяется по границе «конструкция – вмещающие грунты». Образующийся слой защищает конструкцию и отжимает воду от сооружения.

Цементацию выполняют цементными растворами на основе цементов марки не ниже 400. Для контрольной цементации лучше применить растворы особо тонко дисперсных веществ (ОТДВ). Растворы нагнетают через шпур, оборудованные геметизаторами под избыточным давлением.

Комплексно применение описанных приемов позволяет стабилизировать вмещающие грунты и повысить водонепроницаемость бетонных, железобетонных и комбинированных конструкций шахтных подземных и заглубленных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson B. Waterproofing materials and techniques for cut-and-cover structures // *Underground Space*.- 1984.- volume 8.- № 2. P. 21-29.
2. Bergmeister K., Santa U. Global monitoring concepts for bridges // *Structural concrete*.- 2001. - № 1.-P. 12-16.
3. Neville A. Maintenance and Durability of Structures // *Concrete International*.- 1997.-№ 11.- P. 9-12.
4. Рекомендации по проектированию гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений. ЦНИИпромзданий, М.: 1996.
5. Романов А.А., Мусиенко С.П., Мишутин А.В. Технологические аспекты обеспечения водонепроницаемости железобетонных конструкций гидротехнических сооружений// *Геотехническая механика – Сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 2006. – Вып. 61. – С. 132 – 141.*