

Изибаев Дмитрий Вадимович, бакалавр
Уфимский университет науки и технологий
Izibaev Dmitry Vadimovich
Ufa University of Science and Technology

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ГЕРМЕТИЗАЦИИ
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
SYSTEMATIZATION OF SEALING METHODS FOR EXPANSION JOINTS
IN PRECAST REINFORCED CONCRETE UNDERGROUND STRUCTURES**

Аннотация. В статье представлен анализ методов обеспечения водонепроницаемости деформационных швов в сборных железобетонных конструкциях подземного заложения. Рассмотрены физико-механические свойства основных групп материалов, включая поливинилхлорид, этиленпропиленовые каучуки и неопрен. Рассмотрены технологии применения гидроизоляционных шпонок, набухающих профилей и инъекционных систем. Обоснована необходимость дифференцированного подхода к выбору сочетаний материалов в зависимости от величины гидростатического давления, типа деформаций и агрессивности окружающей среды.

Abstract. The article presents an analysis of methods for ensuring the watertightness of expansion joints in precast reinforced concrete underground structures. The physical and mechanical properties of the main groups of materials, including polyvinyl chloride, ethylene propylene rubbers and neoprene, are analyzed. Technologies for the use of waterstops, swelling profiles and injection systems are considered. The necessity of a differentiated approach to the choice of material combinations depending on the hydrostatic pressure, the type of deformations and the aggressiveness of the environment is substantiated.

Ключевые слова: Деформационный шов, гидроизоляция, подземные сооружения, гидрошпонка, EPDM, инъектирование, сборный железобетон, набухающий профиль.

Keywords: Expansion joint, waterproofing, underground structures, waterstop, EPDM, injection, precast reinforced concrete, swelling profile.

Введение

Строительство подземных транспортных тоннелей, многоуровневых паркингов и заглубленных частей гражданских зданий связано с решением сложных задач по обеспечению долговечности конструкций в условиях постоянного воздействия грунтовых вод. Сборный железобетон, обеспечивая высокую скорость возведения объектов, создает значительное количество сопряжений, требующих герметизации. Деформационные швы являются наиболее уязвимыми участками гидроизоляционного контура, поскольку они должны не только препятствовать проникновению влаги под давлением, но и компенсировать постоянные перемещения элементов, вызванные температурными колебаниями, неравномерной осадкой основания или сейсмическими нагрузками. Общие требования к проектированию таких узлов и выбору материалов диктуются строительными нормами, связывающими тип защиты с классом ответственности сооружения и гидрогеологическими условиями [1, 2].

Надежность узла герметизации определяется не только качеством монтажа, но и соответствием физико-химических свойств выбранных материалов характеру ожидаемых нагрузок. Неправильный подбор системы ведет к коррозии арматуры и нарушению эксплуатации сооружения, что требует дорогостоящих мероприятий по ликвидации протечек. Целью данной статьи является систематизация существующих методов герметизации и определение наиболее эффективных технологических сочетаний материалов для различных условий эксплуатации подземных сооружений.



Классификация и характер работы деформационных швов

Для обоснованного выбора системы герметизации необходимо учитывать специфику работы деформационного шва, который может быть температурно-усадочным или осадочным. Температурно-усадочные швы в сборных конструкциях подземных сооружений обычно характеризуются небольшими амплитудами раскрытия и сужения, связанными с сезонными изменениями температуры воздуха и грунта. В свою очередь, осадочные швы, разделяющие блоки зданий разной этажности или части тоннелей на неоднородных грунтах, предполагают значительные вертикальные и горизонтальные смещения [3]. В таких узлах материал герметизации подвергается сложным деформациям сдвига и растяжения, что требует особого внимания к эластичности полимерных компонентов.

Помимо вектора деформаций, определяющим фактором является величина гидростатического напора. В инженерной практике принято разделять условия на низконапорные, при которых давление воды не превышает пяти метров водяного столба, и высоконапорные, характерные для тоннелей глубокого заложения. При высоком давлении вода способна проникать через микропоры бетона и места неплотного прилегания гидроизоляционных элементов, что требует создания многобарьерных систем защиты [4]. Таким образом, систематизация методов должна опираться на комплексный учет расчетных деформаций и давления внешней среды, фиксируемого в ходе инженерных изысканий.

Применение гидроизоляционных шпонок и анализ материалов

Основным методом первичной герметизации швов в сборном железобетоне является использование гидроизоляционных шпонок, которые интегрируются в тело конструкции или устанавливаются на её поверхность. По расположению в сечении шпонки делятся на внутренние и внешние. Внутренние шпонки, находясь в центре сечения стены или плиты, защищены от механических повреждений и эффективно сдерживают давление воды за счет анкерных ребер, создающих лабиринтный путь для влаги. Внешние или опалубочные шпонки устанавливаются со стороны давления воды и препятствуют ее попаданию внутрь шва, защищая торцы бетонных панелей.

Эффективность работы гидрошпонки напрямую зависит от полимерного состава. Широкое распространение получили профили из пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ-П). Данный материал обладает хорошей свариваемостью, что позволяет создавать непрерывные контуры на строительной площадке. Однако ПВХ-пластики склонны к потере эластичности при отрицательных температурах и обладают ограниченным ресурсом при многократных знакопеременных нагрузках [5]. Более долговечным решением является использование этиленпропиленовых каучуков (EPDM). Материалы на основе каучука обладают высокой «памятью формы», химической стабильностью и сохраняют работоспособность в течение пятидесяти и более лет. Основные требования к физико-механическим показателям таких эластомеров регламентируются международными и отраслевыми стандартами [6]. В условиях контакта с агрессивными средами, такими как нефтепродукты или масла, целесообразно применение хлоропеновых каучуков (неопрена), которые при высокой эластичности обладают необходимой химической стойкостью.

Вспомогательные методы на основе набухающих профилей

Вторым контуром защиты часто выступают набухающие профили и шнуры, работа которых основана на принципе объемного расширения при контакте с водой. Принцип действия бентонитовых профилей базируется на свойствах природной натриевой глины, которая в ограниченном пространстве шва образует плотный водонепроницаемый гель. Вместе с тем, бентонитовые составы могут вымываться при постоянном интенсивном притоке воды и терять свои свойства при высокой минерализации грунтовых вод [7].

Альтернативой являются профили из гидрофильной резины или акриловых полимеров. Расширение таких материалов происходит на молекулярном уровне за счет поглощения воды структурой полимера. Акриловые профили более стабильны в циклах набухания и высыхания,



обладают повышенной механической прочностью и не склонны к вымыванию. Использование таких шнуров в сочетании с гидрошпонками позволяет компенсировать возможные дефекты бетонирования и гарантировать герметичность при возникновении микротрещин в зоне прилегания основного барьера. Эффективность данных систем подтверждается многочисленными натурными испытаниями в условиях обводненных грунтов [2, 8].

Инъекционные системы как метод активной герметизации

Для наиболее ответственных узлов подземных сооружений применяется технология превентивного инъектирования. Метод заключается в закладке специальных перфорированных шлангов в зону деформационного шва на этапе монтажа конструкций. После того как бетон набрал необходимую прочность и произошла первичная усадка, через инъекционную систему под давлением подаются полимерные составы. Обычно применяются акрилатные гели или полиуретановые смолы низкой вязкости, которые заполняют все пустоты в шве и поры в прилегающем бетоне [7, 9].

Преимущество данного метода заключается в возможности повторного использования системы в случае появления протечек в процессе эксплуатации сооружения. Инъектирование создает активный водонепроницаемый барьер, который плотно связывается с бетонным основанием и сохраняет эластичность при раскрытии шва. В сочетании с гидрошпонками инъекционные шланги образуют систему «контрольно-инъекционного» типа, где шпонка ограничивает зону распространения состава, а инъекция обеспечивает окончательную герметизацию узла. Подобный подход особенно актуален для тоннелей метрополитенов, где доступ к внешнему контуру после засыпки котлована невозможен [1].

Сравнение долговечности и эксплуатационных параметров

Долговечность герметизации определяется не только начальной водонепроницаемостью, но и способностью материалов сохранять свойства в агрессивной подземной среде. ПВХ-материалы подвержены процессу миграции пластификатора, что со временем приводит к их хрупкости. Вместе с тем, ПВХ остается наиболее ремонтпригодным материалом благодаря возможности сварки. Каучуки (EPDM) превосходят ПВХ по морозостойкости и устойчивости к ультрафиолету (на этапе хранения и монтажа), а также показывают лучшие результаты в тестах на долгосрочную ползучесть и восстановление после сжатия [4, 10].

Важным аспектом является взаимодействие материалов с бетонной смесью. Гидрофильные профили должны иметь замедленную скорость набухания, чтобы не допустить разрушения еще не набравшего прочность бетона. Для инъекционных материалов критическим параметром является адгезия к влажному бетону и вязкость, позволяющая проникать в дефекты шириной менее 0,1 мм. Систематический учет этих параметров в рамках научно-технического сопровождения строительства позволяет переходить от интуитивного подбора материалов к расчетному проектированию узлов герметизации [11].

Оптимальные сочетания методов для различных условий

Выбор конкретного технического решения должен базироваться на сопоставлении эксплуатационных требований и характеристик материалов. Для объектов гражданского строительства с низким уровнем грунтовых вод и стабильными основаниями оптимально использовать сочетание внешних ПВХ-гидрошпонок и дублирующего контура из набухающих акриловых шнуров. Такое решение обеспечивает надежную защиту от капиллярной влаги и случайных протечек при минимальных экономических затратах.

В транспортных тоннелях, подверженных вибрациям и высокому давлению воды, необходимо применение многоконтурных систем на основе этиленпропиленовых каучуков. Рекомендуемая схема включает установку внутренних гидрошпонок из EPDM и закладку инъекционных шлангов. Каучук выступает основным деформационным элементом, а инъекция служит резервным барьером, гарантирующим герметичность при экстремальных



нагрузках. Для швов в агрессивных грунтах, содержащих нефтепродукты или активные химические соединения, безальтернативным является применение шпонок из неопрена в сочетании со специальными полиуретановыми смолами.

Заключение

Систематизация методов герметизации деформационных швов в сборном железобетоне показывает, что достижение надежности подземных сооружений возможно только через рациональное комбинирование различных технологий. Для фундаментов зданий при малом давлении воды наиболее эффективным и экономически оправданным является сочетание ПВХ-гидрошпонок с набухающими профилями на основе акрила. В условиях высокого гидростатического давления и значительных динамических нагрузок, характерных для тоннелестроения, следует применять многобарьерные системы, объединяющие гидрошпонки из каучука (EPDM) и превентивные инъекционные каналы. Для объектов, эксплуатируемых в химически агрессивных средах, необходимо использование хлоропреновых каучуков (неопрена). Соблюдение данных принципов сочетаемости материалов позволяет обеспечить проектную долговечность подземных сооружений и исключить затраты на аварийный ремонт в процессе эксплуатации.

Список литературы:

1. СП 120.13330.2012 Тоннели метрополитенов. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012.
2. СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод. – М.: Стандартинформ, 2016.
3. Зерцалов М. Г. Подземные сооружения. – М.: АСВ, 2017. – 384 с.
4. Шилин А. А. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте. – М.: Русское слово, 2018. – 256 с.
5. Харинов С. А. Сравнительный анализ полимерных материалов для гидрошпонок // Строительные материалы и технологии. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 15–22.
6. DIN 18541-1:2014-11. Waterstops for sealing joints in concrete – Part 1: Terms and definitions, classification.
7. Шилин А. А., Зайцев М. В. Современные методы гидроизоляции деформационных швов // Подземное пространство мира. – 2019. – № 4. – С. 45–51.
8. Маковский Л. В. Проектирование автодорожных тоннелей. – М.: Транспорт, 2015. – 320 с.
9. Бондаренко В. М., Федяев Н. И. Коррозионная стойкость железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 2015. – 184 с.
10. Козлов Д. В. Проектирование гидроизоляции подземных конструкций из сборного железобетона // Вестник МГСУ. – 2020. – № 8. – С. 1102–1115.
11. ISO 1920-5:2018. Testing of concrete – Part 5: Determination of water penetration depth under pressure

