

УДК 624.01

© М. К. Кудобаев, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: mkudobaev@geoizol.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-4-55-61

© М. К. Kudobaev, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: mkudobaev@geoizol.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЗОНЫ КОНТАКТА «БЕТОН–ГИДРОШПОНКА» ДЛЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

STUDY OF PERMEABILITY OF THE «CONCRETE–WATERSTOP» CONTACT ZONE FOR BURIED STRUCTURES

Проведен анализ нормативных документов и имеющихся исследований, описывающих применение гидроизоляционных профилей из пластифицированного ПВХ (гидрошпонки) при герметизации строительных швов монолитных железобетонных конструкций. Произведен анализ эмпирической формулы для определения водонепроницаемости узлов. Выполнена оценка водонепроницаемости контактной зоны «бетон–гидрошпонка». Экспериментально подтверждено влияние свойств бетона на водонепроницаемость строительных швов с ПВХ гидрошпонками. Произведена оценка влияния напряженно-деформированного состояния гидрошпонок на водонепроницаемость швов.

Ключевые слова: первичная защита, ПВХ гидрошпонки, строительные швы, водонепроницаемость.

The article presents the results of the analysis of normative documents and available studies describing the use of waterproofing profiles made of plasticized PVC (waterstops) for sealing construction joints of monolithic reinforced concrete structures. The empirical formula for assessing the water resistance of joints has been analyzed. The water resistance of the «concrete–waterstop» contact zone has been evaluated. The influence of concrete properties on water resistance of construction joints with PVC waterstops has been experimentally confirmed. The influence of the stress-strain state of waterstops on the water resistance of joints has been evaluated.

Keywords: primary protection, PVC waterstops, construction joints, water resistance.

Введение

Развитие и популяризация технологии устройства первичной защиты от подземных вод раскрывает широкие возможности перед строителями практически всех отраслей. Результатами внедрения данной технологии является сокращение сроков строительства, экономия средств за счет снижения затрат на устройство и ремонт гидроизоляции сооружений [1–4]. При этом технология первичной защиты имеет слабые стороны, связанные в первую очередь с недостаточно исследованными условиями применимости,

нормами проектирования, требованиями к материалам. Одним из вопросов, оставленным без должного внимания, является герметизация строительных швов.

Наиболее распространенным способом герметизации строительных швов железобетонных конструкций, выполняемых по технологии монолитного бетонирования, являются гидроизоляционные профили, выполняемые из пластифицированного ПВХ (далее гидрошпонки). Герметизация швов в данном случае обеспечивается свойствами материала, профилем изделий, имеющим

анкерные и уплотняющие выступы, и качеством омоноличивания в бетоне. В настоящий момент существует ряд нормативных документов на территории как Российской Федерации, так и иностранных государств, регулирующих правила выбора и монтажа гидрошпонок. Наиболее известны среди них:

– на территории РФ: СП 250.1325800–2016 «Здания и сооружения. Защита от подземных вод» и СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 «Устройство водонепроницаемых конструкций»;

– иностранных государств: национальный стандарт Германии DIN 18197:2018-01 «Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbaendern»; Американский стандарт ASTM D 8530 «Standard Guide for the Selection and Use of Waterstops» и др.

Анализ имеющихся данных показывает, что требования к материалам для производства гидрошпонок в большей части документов идентичны, при этом требования к проектированию и пониманию принципа работы гидрошпонок кардинально отличаются.

В DIN 18197:2018-01 и работах [5–7] выбор гидрошпонок для деформационных швов (помимо конструктивных и технологических требований) осуществляется на основании показателя диаграмм (рис. 1) в зависимости от воспринимаемого давления воды на узлы и результирующей деформации, определяемой как вектор сумм максимально ожидаемых перемещений по трем осям. Нормируемая ширина деформационных швов по DIN 18197:2018-01 составляет 20–30 мм, тогда как на территории Российской Федерации наиболее распространенный размер деформационных швов 50 мм. Выбор гидрошпонок производится без учета свойств бетона на водонепроницаемость узла, что, как показано ниже, ограничивает возможности их использования.

На территории РФ правила применения гидрошпонок регламентированы СП 250.1325800–2016 и СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014. В обоих документах отсутствуют данные по выбору гидрошпонок исходя

из перемещений блоков конструкций. В СТО НОСТРОЙ 2.7.156–2014 приведена формула для определения водонепроницаемости узлов:

$$Wr = 4,24 W \sum Ri,$$

где Wr — водонепроницаемость узла сопряжения, МПа; W — марка бетона по водонепроницаемости (ГОСТ 12730.5); $\sum Ri$ — величина периметра герметизирующих зон по возможному пути миграции влаги, м.

Под периметром герметизирующих зон подразумевается периметр по длине контакта забетонированной части профиля для «замыкающих» и «опалубочных» типов (рис. 2, а), а для «внутренних» профилей это периметр по длине контакта от края гидрошпонки до ближайшего к компенсационной части уширения (рис. 2, б).

Предложенная формула показывает прямую зависимость водонепроницаемости узлов с гидрошпонками от свойств бетона, но полностью игнорирует работу самой шпонки как упругого тела внутри бетонной конструкции. Данная формула не позволяет производить выбор типа и размеров гидрошпонки в зависимости от величин перемещения блоков конструкций.

При использовании приведенной формулы водонепроницаемость узла конструкции с установленной шпонкой «внутреннего» типа с длиной периметра контакта, равной 100 мм, и маркой по водонепроницаемости

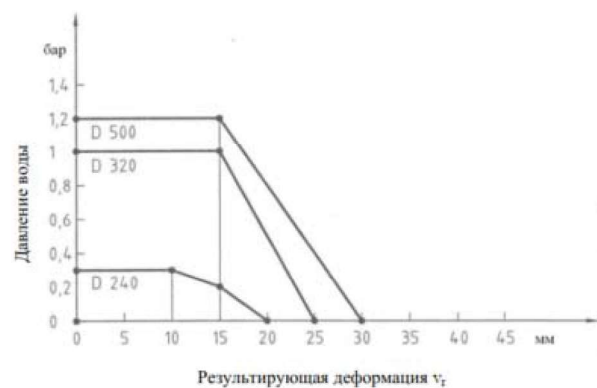


Рис. 1. Пример диаграммы выбора гидрошпонки по DIN 18197:2018-01 для профилей, тип D

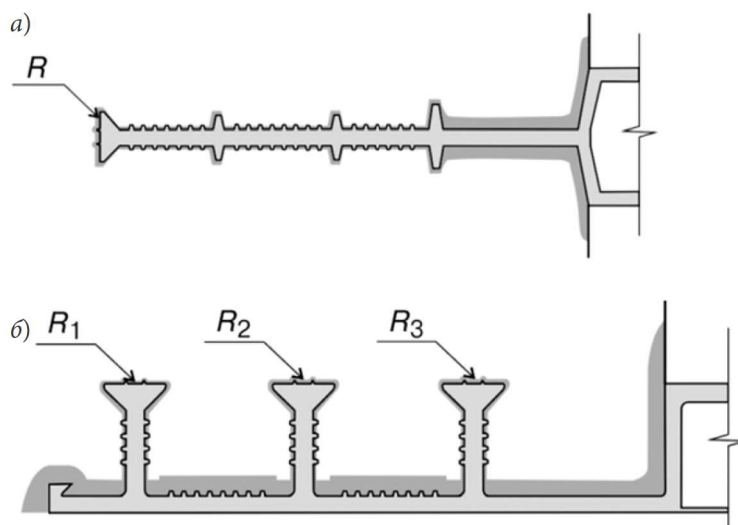


Рис. 2. Схема пути миграции влаги для гидрошпонок (показана тонкими линиями): а — для «закрывающих» и «опалубочных»; б — для «внутренних» гидрошпонок

W8 должна составлять 0,339 МПа, для бетона марки по водонепроницаемости W12 — 0,509 МПа. Данное давление может получить железобетонная конструкция, помещенная под воду на глубину более 30 м. Выполнение такого условия довольно сложно представить на практике, так как протечки через швы с уставленными гидрошпонками с периметром, превосходящим расчетный в 2 и более раз, на практике происходят при давлении воды начиная с 0,2–0,3 бар.

Проницаемость швов с установленными уплотнителями рассмотрена в работах [8–13].

В качестве одной из гипотез, описывающих работу гидрошпонок в бетоне, указан эффект уплотнения в процессе деформации профиля. Согласно работам [10, 12 и 13] водонепроницаемость контактной зоны складывается из двух величин:

- 1) контактного давления, возникающего за счет обжатия гидрошпонки в процессе усадки цементной матрицы;
- 2) силы сцепления (рис. 3).

В процессе деформации гидрошпонок, возникающей при осадке блоков и не вызывающей критического нарушения целостно-

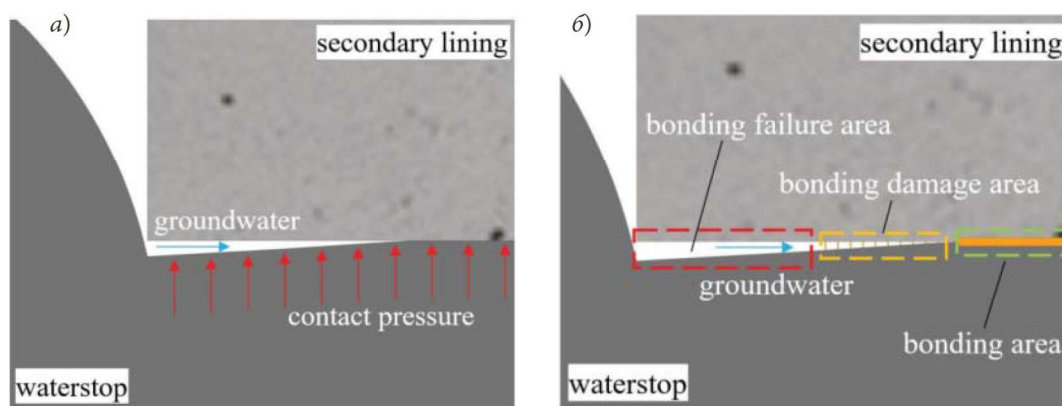


Рис. 3. Механизм проницаемости контактной зоны «бетон-гидрошпонка»: а — контактное давление; б — сцепление

сти системы, величина контактного давления на части сечения должна возрастать, тем самым увеличивая водонепроницаемость узла.

Задачей исследования, описанного в данной статье, является уточнение исходных параметров проницаемости контактной зоны «бетон-гидрошпонка», влияния на эффективность использования гидрошпонок свойств применяемого бетона, а также эффекта уплотнения при деформации гидрошпонки в процессе натяжении профиля.

Результаты эксперимента

Для исследования были отформованы две серии бетонных образцов кубиков $100 \times 100 \times 100$ мм с установленными в них закладными элементами, выполненными из ПВХ шпонки ХВ 320 с восстановленной торцевой поверхностью (рис. 4 и 5).

Первая серия образцов была выполнена из бетона В30 W8 П4 F₁150 (требования для водонепроницаемых конструкций по СП 250.1325800–2016); вторая серия — из состава «АЛИТ СМБ-1ср» (смесь сухая монтажная бетонная цементная саморастекающаяся) В35 W12 П5 F300.

Испытание образцов производилось на установке «Matest С430». Для более точного определения показаний воспринимаемого давления воды в гидравлическую систему установки был врезан высокоточный манометр с ценой деления 0,1 бар. Учитывая невысокие показатели водонепроницаемости контактной зоны «бетон-гидрошпонка», полученные в предыдущих работах [14], испытание образцов второй серии производилось без обработки торцевых поверхностей гидроизоляционным составом.

Для определения эффекта уплотнения при натяжении гидрошпонки на двух образцах первой серии перед испытанием было выполнено предварительное натяжение закладной.

Испытания проводились до появления на нижней грани образцов следов увлажнения. Во всех случаях фильтрация была отмечена по установленным закладным. Показания давления воды, при которых была выявлена фильтрация, представлены в таблице.



Рис. 4. Закладная деталь, выполненная из ПВХ гидрошпонки ХВ 320 с восстановленной торцевой поверхностью



Рис. 5. Бетонные образцы $100 \times 100 \times 100$ мм с установленной закладной деталью из ПВХ гидрошпонки ХВ 240

После проведения испытания на установке «Matest С430» образцы раскалывались для уточнения пути движения воды (рис. 6). В обеих сериях образцов четко виден путь движения воды.

Выводы

1. В ходе эксперимента получены значения проницаемости контактной зоны «бетон-

гидрошпонка». Для бетона, удовлетворяющего требованиям СП 250.1325800–2016, проницаемость контактной зоны составила 0,1–0,2 бар.

2. Выявлено расхождение между расчетными и экспериментальными данными проницаемости узла, что, вероятно, обусловлено недостаточно точным моделированием работы ПВХ шпонки в конструкции. При этом полученные значения отражают истинную проницаемость контактной зоны «бетон-гидрошпонка» в статическом состоянии и неплохо коррелируются с данными с выполненных объектов.

3. Выполнено испытание проницаемости контактной зоны с использованием доработанной установки «Matest С430». Предлагаемая методика может быть использована при дальнейшем изучении влияния свойств проницаемости контактной зоны «бетон-гидрошпонка».

4. Установлено, что напряженное состояние ПВХ гидрошпонки не вызывает уплотнения узла и не увеличивает его водонепроницаемость.

5. Применение бетонов с улучшенной структурой и более высокими показателями марки по водонепроницаемости позволяет повысить водонепроницаемость контактного слоя «бетон-гидрошпонка», что дает возможность влиять на качество герметизации строительных швов.



Рис. 6. Расколотые образцы: а — из бетона (первая серия); б — из смеси «Алит СМБ-1ср» (вторая серия)

Показания давления воды

№ образца	Материал образца	Давление воды при появлении признаков фильтрации, бар	Примечания
1	Бетон В30 W8 П4 F ₁ 150	0,2	Испытания с предварительным натяжением закладной
2		0,2	
3		0,2	
4		0,2	
5		0,2	
6		0,3	
7		0,2	
8		0,2	
9	АЛИТ СМБ-1ср	0,6	
10		0,5	

Библиографический список

1. Шилин А. А., Гидроизоляция подземных и заглубленных зданий и сооружений при строительстве и ремонте. М.: МИСИ, 2018.
2. Кардумян Г. С., Иванов С. И. Система защиты железобетонных конструкций от подземных вод «белая ванна» // Строительные материалы. 2018. № 11. С. 21–26. URL: <https://doi.org/10.21659/0585-430X-2018-765-11-21-26>
3. Иванов С. И., Кардумян Г. С. Гидроизоляция подземной части зданий методом «Белая ванна» // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы IV Междунар. (X Всероссийской) конф. Чебоксары, 21–22 ноября 2018 года. Чебоксары: Чувашский гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 2018. С. 242–249.
4. Кардумян Г. С. Низкотермичные бетоны с компенсированной усадкой, модифицированные комплексной добавкой «ЭМБЭЛИТ», для водонепроницаемых конструкций по системе «Белая ванна» // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 49–55.
5. Rainer Hohmann. Die neue Anwendungsnorm DIN V 18197 „Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern“ // Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 11., 2005.
6. Rainer Hohmann. Fugenabdichtung bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton // Fraunhofer-IRB-Verl., 2007.
7. Rainer Hohmann. Kombi-Fugenbander zur Abdichtung in wasserundurchlässigen Konstruktionen aus Beton // Fachbereich Architektur, 68–73.
8. Цыбенко А. В. Исследование водонепроницаемости герметичных секций гидроизоляции из полимерных мембран и гидрошпонок // Фундаменты. 2021. № 1. С. 72–74.
9. Byoung Hooi Cho, Boo Hyun Nam, Sangyeon Seo, Jungil Kim, Heejung Youn. Experimental study on the waterstop with adhesive bonding // Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics, 16–21 September 2018, Seoul, Korea.
10. Lin Wang, Chao Guan, Yimin Wu and Chengkui Feng. Impact Analysis and Optimization of Key Material Parameters of Embedded Water-Stop in Tunnels // Appl. Sci. 2023, 13, 8468. URL: <https://doi.org/10.3390/app13148468>, <https://www.mdpi.com/journal/applsci>
11. Mingli Huang, Meng Huang and Ze Yang. Large-Scale Model Test on Water Pressure Resistance of Lining Structure of Water-Rich Tunnel // Materials 2023, 16, 440. URL: <https://doi.org/10.3390/ma16010440>, <https://www.mdpi.com/journal/materials>
12. Yumin Wu, Haiping Wu, Dinghai Chu, Sheng Feng, Junjian Zhang, Haoran Wu. Failure mechanism

analysis and optimization analysis of tunnel joint waterstop considering bonding and extrusion / Appl. Sci. 2022, 12, 5737. URL: <https://doi.org/10.3390/app12115737/>

13. Yimin Wu, Haiping Wu, Chenjie Gong and Le Huang. Numerical Investigation of Key Structural Parameters for Middle-Buried Rubber Waterstops // Mathematics 2023, 11, 3546. URL: <https://www.mdpi.com/journal/mathematics>

14. Кудобаев М. К. К вопросу о водонепроницаемости железобетонных конструкций // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2023. № 3 (72). С. 24–29.

References

1. Shilin A. A. *Gidroizolyatsiya podzemnykh i zaglublennykh zdaniy i sooruzheniy pri stroitel'stve i remonte* [Waterproofing of underground and buried buildings and structures during construction and repair]. Moscow, MISI Publ., 2018.
2. Kardumyan G. S., Ivanov S. I. *Sistema zashchity zhelezobetonnykh konstruksiy ot podzemnykh vod «belaya vann»* [The “white bath”, a system of protection of reinforced concrete structures from underground water]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2018, no. 11, pp. 21–26. Available at: <https://doi.org/10.21659/0585-430X-2018-765-11-21-26>
3. Ivanov S. I., Kardumyan G. S. *Gidroizolyatsiya podzemnoy chasti zdaniy metodom «Belaya vann»* [Waterproofing of the underground part of buildings by the “White Bath” method]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy (X Vserossiyskoy) konferentsii, Cheboksary, 21–22 noyabrya 2018 goda «Novoe v arkhitekture, proektirovaniy stroitel'nykh konstruksiy i rekonstruksii* [Proceedings of the IV International (X All-Russian) conference, Cheboksary, November 21–22, 2018 “Advances in architecture, design of building structures and reconstruction”]. Cheboksary, Chuvashskiy gosudarstvenniy universitet imeni I. N. Ulyanova Publ., 2018, pp. 242–249.
4. Kardumyan G. S. *Nizkotermichnye betony s kompensirovannoy usadkoy, modifitsirovannye kompleksnoy dobavkoy «EMBELIT», dlya vodonepronitsaemykh konstruksiy po sisteme «Belaya vann»* [Low-thermal concretes with compensated shrinkage modified by complex additive “EMBELIT” for watertight structures under the system “White Bath”]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2012, no. 11, pp. 49–55.
5. Rainer Hohmann. *Die neue Anwendungsnorm DIN V 18197 „Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern“*. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 11, 2005.

6. Rainer Hohmann. *Fugenabdichtung bei wasser und urchlässigen Bauwerken aus Beton*. Fraunhofer-IRB-Verl., 2007.
7. Rainer Hohmann. *Kombi-Fugenbanderzur Abdichtung in wasser und urchlässigen Konstruktionen aus Beton*. Fachbereich Architektur, 68–73.
8. Tsybenko A. V. *Issledovanie vodonepronitsaemosti germetichnykh sektsiy gidroizolyatsii iz polimernykh membran i gidroshponok* [Investigation of watertightness of sealed sections of waterproofing from polymeric membranes and waterproofing veneers]. *Fundamenty – Foundations*, 2021, no. 1, pp. 72–74.
9. Byoung Hooi Cho, Boo Hyun Nam, SangyeonSeo, Jungil Kim, Heejung Youn. Experimental study on the waterstop with adhesive bonding. *Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics*, 16–21 September, 2018, Seoul, Korea.
10. Lin Wang, Chao Guan, Yimin Wu and Chengkui Feng. Impact analysis and optimization of key material parameters of embedded water-stop in tunnels. *Appl. Sci.*, 2023, 13, 8468. Available at: <https://doi.org/10.3390/app13148468>, <https://www.mdpi.com/journal/applsci>
11. Mingli Huang, Meng Huang and Ze Yang. Large-scale model test on water pressure resistance of lining structure of water-rich tunnel. *Materials* 2023, 16, 440. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma16010440>, <https://www.mdpi.com/journal/materials>
12. Yumin Wu, et al. Failure mechanism analysis and optimization analysis of tunnel joint waterstop considering bonding and extrusion. *Appl. Sci.*, 2022, 12, 5737. Available at: <https://doi.org/10.3390/app12115737/>
13. Yimin Wu, Haiping Wu, Chenjie Gong and Le Huang. Numerical investigation of key structural parameters for middle-buried rubber waterstops. *Mathematics*, 2023, 11, 3546. Available at: <https://www.mdpi.com/journal/mathematics>
14. Kudobaev M. K. *K voprosu o vodonepronitsaemosti zhelezobetonnykh konstruktsiy* [To the issue of water tightness of iron and concrete constructions]. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi – ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*, 2023, no. 3 (72), pp. 24–29.