

Санация стен подвала с применением сухих смесей для торкретирования

Д. Г. Портнягин, В. А. Василишин, А. В. Жарченко

Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, Абакан

Аннотация: Рассматривается реконструкция подвала двухэтажного кирпичного здания. Проведено техническое обследование конструкций и элементов подвала двухэтажного здания, при котором выявлены повреждения. Проведена оценка состояния конструкций и элементов подвала, подвергающемуся периодическому подтоплению. Основные задачи реконструкции включали: устранение фактов подтопления путем гидроизоляции стен и пола подвала, разработка рецептуры сухой смеси для торкретирования, устранение выявленных повреждений и усиление стен подвала. Проведен мониторинг состояния конструкций подвала после выполнения работ по реконструкции.

Ключевые слова: подвал, подтопление, водонепроницаемость, прочность бетона при сжатии, цемент, микрокремнезем, комплексная органоминеральная добавка.

Для обеспечения проектного срока эксплуатации строительных объектов и надежной эксплуатации подвала с влажным режимом эксплуатации требуется не только качественное выполнение работ, но и правильный выбор составов бетонов, обладающих необходимыми свойствами и коррозионной стойкостью [1–3].

Конструкции подвала находятся в одних из наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации, что зачастую приводит к повреждениям его несущих конструкций. К неблагоприятным факторам, в первую очередь, относится подтопление подвала и как следствие нарушение температурно-влажностного режима помещения. В качестве примера в статье рассмотрены актуальные вопросы обследования и реконструкции подвала малоэтажного здания, подвергающегося сезонному подтоплению.

Подъем уровня грунтовых вод выше уровня пола подвала может быть вызван различными причинами. С одной стороны, это может произойти в результате сезонного подъема уровня грунтовых вод после многоснежной зимы. С другой стороны – в результате ошибок проектирования вследствие

слабо изученных инженерно-геологических условий участка. В определенных районах строительства грунтовые воды залегают на достаточно большой глубине. Поэтому частный сектор, состоящий из малоэтажных жилых зданий, возводит без учета воздействия грунтовых вод на фундамент или подвал зданий. Однако не учитывается тот факт, что на этих участках возможны временные подземные воды, залегающие выше горизонта грунтовых вод. Их скопление обусловлено залеганием линз, сложенных водонепроницаемыми породами, а также ливневыми и снеговыми талыми водами.

Повышение уровня грунтовых вод или так называемой верховодки оказывает непосредственное влияние на подземные конструкции жилого здания, не предназначенные для этого варианта воздействия. Это приводит к тому, что вода проникает через стены подвала. Для обеспечения проектных сроков эксплуатации здания в нем должны быть проведены работы по защите и гидроизоляции конструкций подвала с целью его безопасной эксплуатации. Поэтому проведено техническое обследование с выявлением дефектов, причин их появления и разработкой рекомендаций по их устранению.

По результатам обследования дефекты в стенах здания не обнаружены, что свидетельствует о нормальной работе фундамента и основания. Фундамент выполнен из сборных железобетонных блоков.

Установлено, что подвал обследуемого здания сезонно находился в подтопленном состоянии. Высота грунтовых вод от уровня пола подвала варьировалась до 0,15 м. При проведении обследования и выполнения работ по реконструкции были организованы мероприятия по откачке грунтовых вод из устроенного в подвале приямка.

В ходе визуального осмотра установлено увлажнение поверхности стен и потолка в помещении подвала и входного тамбура. При этом увлажненная стена подвала является проводником влаги на первый этаж в связи с

капиллярным поднятием влаги. Особый интерес точки зрения обследования представляла стена подвала, выполненная из блоков конструкционного пенобетона. Зафиксированы следы разрушения внутренней поверхности стен – деструкция блоков пенобетона на глубину до 70 мм.

Техническое состояние ограждающих конструкций подвала классифицируется как ограниченно работоспособное состояние в соответствии с положениями СП 13-102-2003 и выявленными дефектами и повреждениями.

При многократных циклах увлажнения и высушивания поверхности стены в материале возникают неравномерные деформации набухания–усадки, что приводит к появлению внутренних напряжений и деструкции материала. Кроме того, при попеременном замораживании и оттаивании поверхностного слоя происходят фазовые превращения поровой влаги в лед. Многократное повторение вызывает накопление локальных повреждений и снижение прочности материала с полной деструкцией. Влажность воздуха в подтопленном подвале достигала 77 %.

Санация стен подвала состоит в выполнении комплекса мер по реконструкции и усилению конструкций подвала путем торкретирования поверхности стен и пола подвала по арматурной сетке. Крепление арматурных сеток 100x100x4 мм выполнено с помощью распорных анкеров М8, расположенных в шахматном порядке с шагом 500 мм. После этого нанесен слой торкрет-бетона разработанной рецептуры. Общая толщина слоя торкрет-бетона составляет 40-120 мм в зависимости от глубины деструкции материала стены. По результатам расчетов установлено, что торкретирование позволило повысить несущую способность стены на 25–30%.

Обзор показал, что тонкодисперсные наполнители оказывают существенное влияние на свойства бетонных смесей, в том числе и

мелкозернистых бетонов [4]. При увеличении содержания микрокремнезема в составах без пластификатора характерен рост водопотребности цементной композиции [5–7]. Гидроизоляционная добавка проникающего действия Акватрон-6 уплотняет структуру [8–10], при этом микротрещины и капилляры становятся водонепроницаемыми.

Использование ультрадисперсного отхода – микрокремнезема в качестве активного микронаполнителя является одним из наиболее эффективных путей получения высокопрочных и особоплотных бетонов [11]. В результате исследований сульфатной коррозии цементно-песчаных растворов с добавлением микрокремнезема идентифицированы кристаллы новообразований и в связи с этим рекомендовано максимальное количество микрокремнезема до 20% [12-14].

В исследовании были использованы следующие сырьевые материалы:

- цемент ПЦ400-Д20 производства ООО «Топкинский цемент»;
- песок с модулем крупности $M_k=2,38$ и насыпной плотностью $1,50 \text{ г/см}^3$;
- микрокремнезем МК-85 Новокузнецкий неуплотненный;
- полимерная добавка Melflux 4930F;
- гидроизолятор проникающего действия (ТУ 5745–080–07508005–2000).

Исследуемая комплексная органоминеральная модифицирующая добавка включает: микрокремнезем МК-85 Новокузнецкий неуплотненный, водоредуцирующий поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 4930F и гидроизолятор проникающего действия.

Неизменным составом была цементная композиция, включающая цемент марки ПЦ400-Д20 и песок с модулем крупности $M_k=2,38$ и насыпной плотностью $1,50 \text{ г/см}^3$ при соотношении компонентов 1:2,1.

Исследования параметров осуществлялись следующими методами:

- предварительный состав цементной композиции – согласно ГОСТ 27006–2019;
-

- влияние комплексной органоминеральной добавки на свойства бетона – методом математического планирования эксперимента путем построения двухфакторного плана второго порядка;
- водонепроницаемость бетона – экспресс–методом определения по воздухопроницаемости согласно ГОСТ12730.5–2018;
- средняя плотность бетона – на образцах–кубах размером 100x100x100 мм согласно ГОСТ 12730.1–78;
- прочность бетонов при сжатии – испытанием образцов–кубов размером 100x100x100 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012;
- прочность торкрет-бетона при сжатии – методом ударного импульса по ГОСТ 22690–2015.
- подвижность бетонной смеси – по осадке конуса (ОК) размером 100x200x300 мм согласно ГОСТ 10181–2014.

Предварительно определен состав цементной композиции с удобоукладываемостью ОК 10–15 см, позволяющей получить тяжелый бетон с прочностью при сжатии порядка 29 МПа в возрасте 28 сут нормального твердения, В/Ц отношение 0,27.

Для последующего исследования влияния комплексной органоминеральной добавки на свойства цементной композиции с помощью метода математического планирования эксперимента количество минеральной (микрокремнезем) и полимерной (пластификатор) добавок в составе цементной композиции варьировалось в пределах соответственно от 3,75 до 15,00 %, от 0,25 до 1,00 % массы цемента, а расход цемента и песка был постоянным, характеризуемый соотношением 1:2,1. Далее к оптимальному составу дополнительно вводилась добавка Акватрон-6 в дозировке согласно инструкции. Диапазон содержания микрокремнезема выбран с учетом особенности его применения и потенциального влияния на процессы коррозии.

В качестве выходящих целевых функций экспериментальной модели были выбраны:

- Y_1 – нормальная плотность цементной композиции, которую измеряли сразу после завершения ее приготовления;
- Y_2 – прочность при сжатии (R28, МПа) бетонных образцов–кубов в возрасте 28 сут. нормального твердения;
- В виде входных факторов были выбраны:
- x_1 – количество МК-85 от 3,75 до 15,00 % массы цемента;
- x_2 – количество Melflux 4930F от 0,25 до 1,00 % массы цемента.

Входные факторы и интервалы их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица № 1

Уровни входных факторов и интервалы их варьирования в планировании второго порядка

Входные факторы		Уровни варьирования					Интервал варьирования
в натуральном виде	в виде переменны х	-1	-0,5	0	0,5	1	
Количество МК-85, %	x_1	0	3,75	7,5	11,25	15	3,75
Количество Melflux 4930F, %	x_2	0	0,25	0,5	0,75	1	0,25

Получены регрессионные уравнения, которые описывают зависимость нормальной плотности цементной композиции (Y_1) и прочности бетона при сжатии в возрасте 28 сут. (Y_2) от переменных x_1 (количества МК-85) и x_2 (количества Melflux 4930F).

По результатам проведения серии экспериментов из 25 составов цементных композиций с добавлением органоминеральной добавки были построены графики поверхностей регрессии (рис. 1). Графики отображают

зависимость нормальной плотности (рис 1а) и прочности на сжатие (рис. 1б) от влияющих факторов.

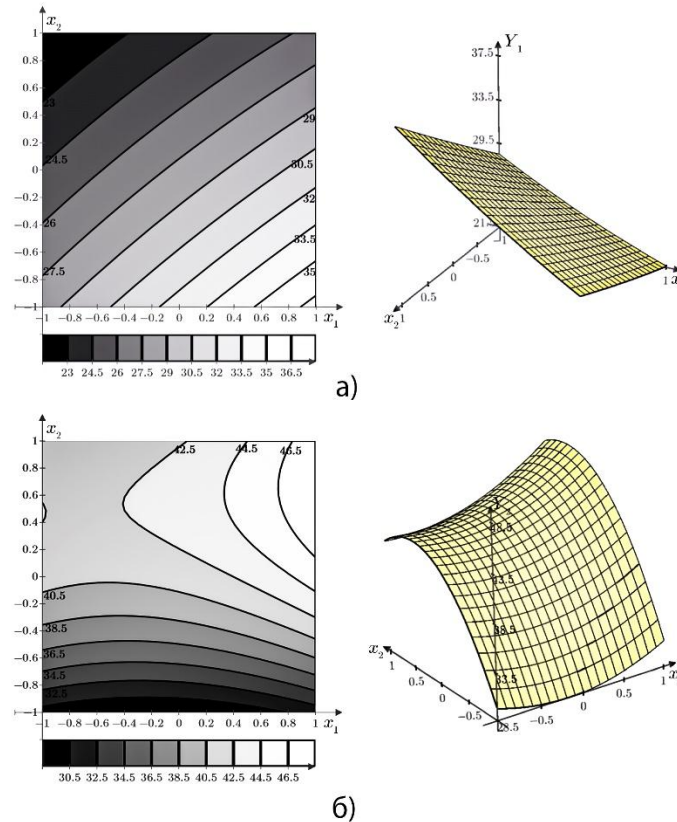


Рис. 1. – Изолинии и поверхности изменения характеристик составов с комплексной органоминеральной добавкой: а)– нормальная плотность; б) – прочности при сжатии бетона (28 сут.)

Из рис. 1а следует, что увеличение доли микрокремнезема с 0 до 15 % приводит к повышению нормальной плотности с 28 до 36. Анализируя полученные результаты совместно с рис. 1б, следует отметить, что в составах без пластификатора наблюдается рост водопотребности цементной композиции при увеличении содержания микрокремнезема, что в итоге не приводит к упрочнению смеси. Установлено, что оптимальным составом с точки зрения прочности смеси является цементная композиция с содержанием микрокремнезема и пластификатора в количестве 12–15 и 0,7–0,9 % от массы цементной композиции соответственно.

После выбора оптимального состава цементной композиции, включающей цемент, песок и органоминеральную добавку, дополнительно введена добавка гидроизолятора в количестве 2 % от массы цементной композиции согласно инструкции по применению. Определена марка водонепроницаемости (W6) цементной композиции с комплексной органоминеральной добавкой (рис. 2), включающей микрокремнезем, поликарбоксилатный пластификатор и дополнительно гидроизолятор проникающего действия.



Рис. 2. – Образцы для определения марки водонепроницаемости

Результаты оптимизации состава цементной композиции и лабораторных исследований опробованы и подтверждены при проведении работ по реконструкции подвала малоэтажного здания, подвергнутому нестабильному уровню верховодки и подтопления подвала (рис. 3).

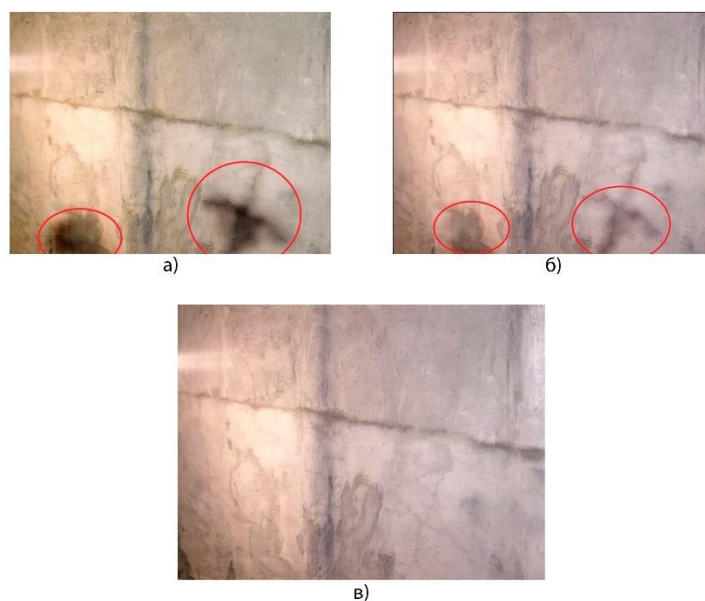


Рис. 3. – Динамика изменения влажности поверхности торкрет-бетона и процесса развития степени гидроизоляции стены подвала с даты торкретирования через: а) 1 месяц; б) 3 месяца; в) 10 месяцев

Изучено влияние исследуемых добавок на сульфатостойкость раствора, изготовленного из торкрет-смесей. Результаты проведенных исследований изменения свойств составов от введения добавок на прочность и химическую стойкость представлены в табл. 2.

Таблица № 2

Сульфатостойкость образцов

Вид и количество добавки в % от массы цемента	Результаты испытаний образцов через 180 суток				Кс
	в воде		в 5 % растворе сульфата натрия		
	Прочность, МПа				
	R _{сж}	R _{изг}	R _{сж}	R _{изг}	
Контрольный состав	29	4,8	16	2,5	0,55
Комплексная добавка + гидроизолятор проникающего действия	48	6,5	45	6,2	0,94

Мониторинг просачивания воды через усиленную торкрет-бетоном стену подвала проводился в течение 10 месяцев. В результате визуального обследования выявлено, что области влажных пятен уменьшились через 3 месяца (рис. 1, б) и спустя 10 месяцев с начала мониторинга выявлена одна влажная область в примыкании стены и нижней ступени железобетонной лестницы. Объясняется это наличием раковины, допущенной при проведении работ по торкретированию стены подвала, и через данный дефект просачивается вода. Дефект устранен разработанным составом торкрет-бетона, в настоящее время наблюдение продолжается.

Таким образом, результаты оптимизации состава цементной композиции торкрет-бетона и лабораторных исследований опробованы и подтверждены при проведении работ по реконструкции подвала малоэтажного здания, подвергнутому нестабильному уровню верховодки и подтопления подвала.

Литература

1. Hickman B. S. D., Macmillan S. Efficacy of crystalline waterproofing additives for basement concrete //Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Construction Materials. 2019. Vol. 172. № 5. С. 256–262. DOI: 10.1680/jcoma.18.00032
2. Бутакова М.Д., Михайлов А.В., Сарибекян С.С. Влияние кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2017. №2. С. 34–41. DOI: 10.14529/build170205
3. Michael J. et al. Crack control in concrete walls through novel mixture design, full-scale testing, and finite element analysis //Construction and Building Materials. 2018. Vol. 166. pp. 301–314. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.081

4. Бабков В. В. и др. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 44–46.

5. Сазнов К. В. Особенности конструирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий с применением микрокремнезема: дис. Сибирский федеральный университет; Хакасский технический институт – филиал СФУ, 2019. 124с.

6. Урханова Л. А., Хардаев П. К., Лхасаранов С. А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками // Строительство и реконструкция. 2015. № 3. С. 167–175.

7. Хрусталева Б. М. и др. Композиционные материалы на основе цементных вяжущих, модифицированных нанодобавками SiO₂ // Наука и техника. 2017. Vol. 16. № 6. С. 459–465. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459-465.

8. Ляпидевская О.Б., Безуглова Е.А., Самотесова Н.В. Новый гидроизоляционный материал на минеральной основе для защиты подземных сооружений от воздействия агрессивной среды // Вестник МГСУ. 2011. №1 (1). С. 127–130.

9. Насрыева Л. И., Изотов В. С., Лыгина Т. З., Шинкарев А. А. Водонепроницаемость бетона после обработки гидроизоляционными пропиточными системами // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2010. № 1 (13). pp. 319–324.

10. Tikhareli V. D., Tikhareli A. V., Cherednichenko T. F. Expansion of Concrete Functionality due to Use of New Hydrophobic Additives //Solid State Phenomena. Trans Tech Publications Ltd, 2017. Vol. 265. Pp. 192–197. DOI: 10.4028/scientific.net/SSP.265.192.

11. Shang Y. et al. Influence of new compound admixture on shotcrete performance //Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2017. Vol. 32. № 6. pp. 1392-1396. DOI: 10.1007/s11595-017-1758-8.

12. Bakhshi H., Ahmadi R. Influence of Nano–Silica and Silica Fume in the Steel Corrosion Embedded in Concrete //Journal of Rehabilitation in Civil Engineering. 2018. Vol. 6. №. 1. Pp. 49–57. DOI: 10.22075/jrce.2017.1254.1126.

13. Heniegal A. M., Amin M., Youssef H. Effect of silica fume and steel slag coarse aggregate on the corrosion resistance of steel bars //Construction and Building Materials. 2017. Vol.155. pp. 846–851. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.111

14. Турчин В. В., Юдина Л. В., Агаев Д. В. Влияние добавки микрокремнезема на сульфатостойкость цементно–песчаных тампонажных растворов //Современные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. С. 36–44.

REFERENCES

1. Hickman B. S. D., Macmillan S. Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Construction Materials. 2019. Vol. 172. № 5. pp. 256–262. DOI: 10.1680/jcoma.18.00032

2. Butakova M.D., Mihajlov A.V., Saribekyan S.S. Vestnik YUUrGU. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2017. №2. pp. 34–41. DOI: 10.14529/build170205

3. Michael J. et al. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 166. Pp. 301–314. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.081

4. Babkov V.V. et al. Stroitel'nye materialy. 2010. № 6. pp. 44–46.

5. Saznov K. V. Osobennosti konstruirovaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy mnogoetazhnykh zdaniy s primeneniym mikrokremsnezema [Features of designing reinforced concrete structures of multi-storey buildings using silica

fume]: dissertaciya: Sibirskij federal'nyj universitet; Hakasskij tekhnicheskij institut, filial SFU, 2019.124p.

6. Urkhanova L. A., Khardayev P. K., Lkhasaranov S. A. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2015. № 3. pp. 167–175.

7. Khrustalev B. M. i dr. Nauka i tekhnika. 2017. Vol. 16. № 6. pp. 459–465. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459-465.

8. Lyapidevskaya O.B., Bezuglova E.A., Samotesova H.B. Vestnik MGSU. 2011. №1 (1). pp. 127–130.

9. Nasryyeva L. I., Izotov B. C., Lygina T. Z., Shinkarev A. A. Izvestiya KazGASU, 2010. № 1 (13). pp. 319–324.

10. Tukhareli V. D., Tukhareli A. V., Cherednichenko T. F. Solid State Phenomena. Trans Tech Publications Ltd, 2017. Vol. 265. pp. 192–197. DOI: 10.4028/scientific.net/SSP.265.192.

11. Shang Y. et al. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2017. Vol. 32. №6. pp. 1392-1396. DOI: 10.1007/s11595-017-1758-8.

12. Bakhshi H., Ahmadi R. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering. 2018. Vol. 6. № 1. pp. 49–57. DOI: 10.22075/jrce.2017.1254.1126.

13. Heniegal A. M., Amin M., Youssef H. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 155. pp. 846–851. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.111.

14. Turchin V. V., YUdina L. V., Agaev D. V. Sovremennyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk, 2015. pp. 36–44.