

## СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

При проектировании и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций важной характеристикой для бетонов, во многом определяющей его долговечность, является его проницаемость, величина которой определяет способность материала сопротивляться воздействию увлажнения и замерзания, влиянию различных атмосферных факторов и агрессивных сред.

Особенно важна проницаемость защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях. В соответствии с СП 28.13330 бетоны по показателям проницаемости разделены на бетоны нормальной, пониженной и особо низкой проницаемости. Согласно СП 28.13330.2012 бетон нормальной проницаемости должен иметь водонепроницаемость W4, коэффициент фильтрации  $K_f$  от 2 до  $7 \cdot 10^{-9}$  см/с; водопоглощение, % – от 4,7 до 5,7; В/Ц < 0,6 [1].

Состав бетона, тип опалубки, способ изготовления и выдерживания бетона – основные факторы, влияющие на качество защитного слоя; отсюда следует, что его качество необходимо определять на конечной стадии, т.е. в готовой конструкции. В нашей стране проницаемость определяется следующими прямыми показателями: маркой бетона по водонепроницаемости и коэффициентом фильтрации  $K_f$  по ГОСТ 12730.5-84. В качестве косвенных показателей могут служить: водопоглощение бетона по массе в %, определенное по ГОСТ 12730.3-84 и водоцементное (В/Ц) отношение [2]. В нашей стране принят метод определения проницаемости бетона с помощью прибора Агама-2Р (рис. 1). Прибор эффективно работает при обследовании конструкций, имеющих значительные площади поверхности. На рис. 1 показана работа установки.

		<p>1 — бетонный образец; 2 — камера устройства; 3 — фланец камеры; 4 — вакуумметрический датчик; 5 — вакуум-насос; 6 — герметизирующая мастика; 7 — вентиль.</p>
<p>Рис.1 Прибор Агама-2Р</p>	<p>Рис.2 Принципиальная схема устройства для определения воздухопроницаемости поверхностных слоев бетона. Прибор Агама-2Р</p>	

Зарубежные стандарты также регламентируют определение водонепроницаемости бетона. Такое определение может быть произведено в лабораторных условиях с помощью специальных установок, например с помощью установки WE 6 MM фирмы FORM+TEST (Германия) отвечающей требованиям зарубежных стандартов DIN 1048, EN 12364, ISO 7031, SIA 262:2003 (рис. 3).

Для простого определения качества проведения защитных мероприятий против возможности поглощения воды поверхностью строительными конструкциями существует прибор, называемый трубкой Карстена (рис.4). В ходе данного испытания, возможно, точно определить, какое количество воды за единицу времени проникает на единицу площади поверхности. Прибор представляет собой трубку с делениями в мл, нижний конец которой имеет расширенную колоколообразную форму. Может быть использован, как в лабораторных, так и в натуральных условиях.



Рис. 3. Установка прямого определения водонепроницаемости WE 6 MM

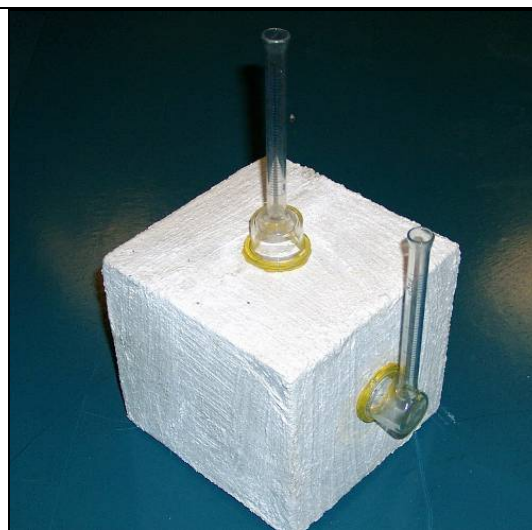
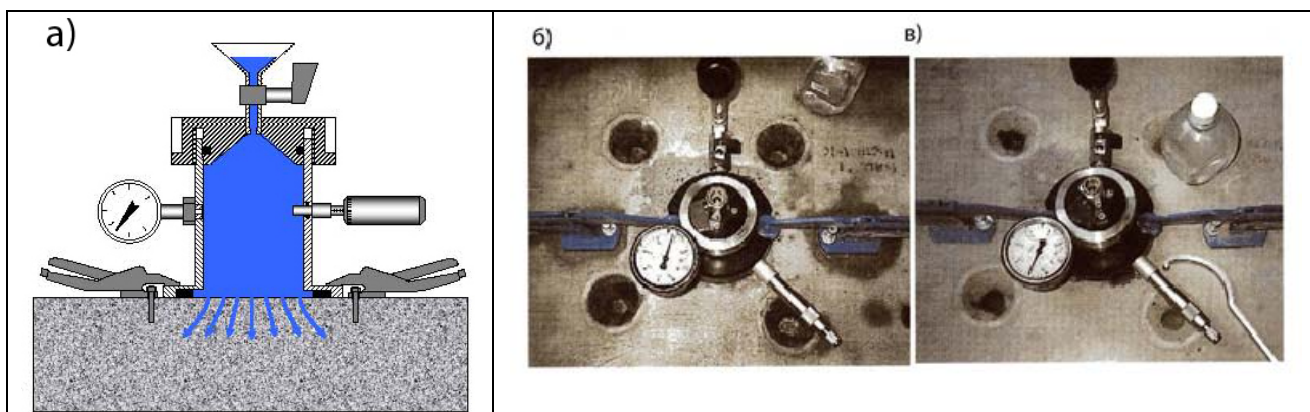


Рис. 4. Трубка Карстена в двух вариантах – для работы на вертикальных и горизонтальных поверхностях

Еще один прибор для определения водонепроницаемости в натуральных условиях предлагает фирма Germann Instruments (Дания). Прибор GWT (рис. 5) обеспечивает пенетрацию воды в бетон под давлением. Прибор предназначен для определения:

- водонепроницаемости поверхностного слоя бетона;
- водонепроницаемости кирпичных панелей;
- герметичности строительных швов;
- эффективности гидроизоляционных мембран.



**Рис. 5. Прибор GWT: а) схема работы прибора; б) начальная стадия испытаний с давлением до 1 бар, на которой вода проходит по поверхностным трещинам; в) завершающая стадия испытаний на которой места испытаний зачищаются на 1.5 мм глубину и давление повышается до 5 бар**

Одним из самых распространенных способов определения проницаемости бетона в натуральных и лабораторных условиях является метод Торрента (регламентирован швейцарским стандартом SIA 262/1-E). Прибор для реализации этого метода последнего поколения называется *PermeaTORR*<sup>TM</sup> (рис.6). Прибор позволяет проводить измерения воздухопроницаемости защитного слоя в натуральных условиях, неразрушающим методом, быстро, воспроизводимо, надежно. Результаты, полученные по данному методу, хорошо коррелируют с результатами других испытаний по определению долговечности, таких как "Быстрый тест на проницаемость хлоридов" (ASTM C1202), капиллярная абсорбция (ASTM C1585), проникновение воды под давлением (EN 12390-8), карбонизация, проницаемость O<sub>2</sub> (Rilem-Sembureau), др.

В двухкамерном сосуде создается вакуум; при этом герметичный контакт каждой из камер с поверхностью бетона обеспечивается посредством мягкого кольца (рис.7).

Воздух, давление которого равно атмосферному, находящийся в порах бетона под установленным сосудом, стремится сквозь защитный слой во внутреннюю камеру, поднимая значение давления в ней. Выравнивая давление воздуха двух камер можно обеспечить контролируемый однонаправленный приток во внутреннюю камеру, и путем соответствующего моделирования вычислить коэффициент воздухопроницаемости  $k_T$  (м<sup>2</sup>) напрямую связанный с ростом давления. (рис.8)

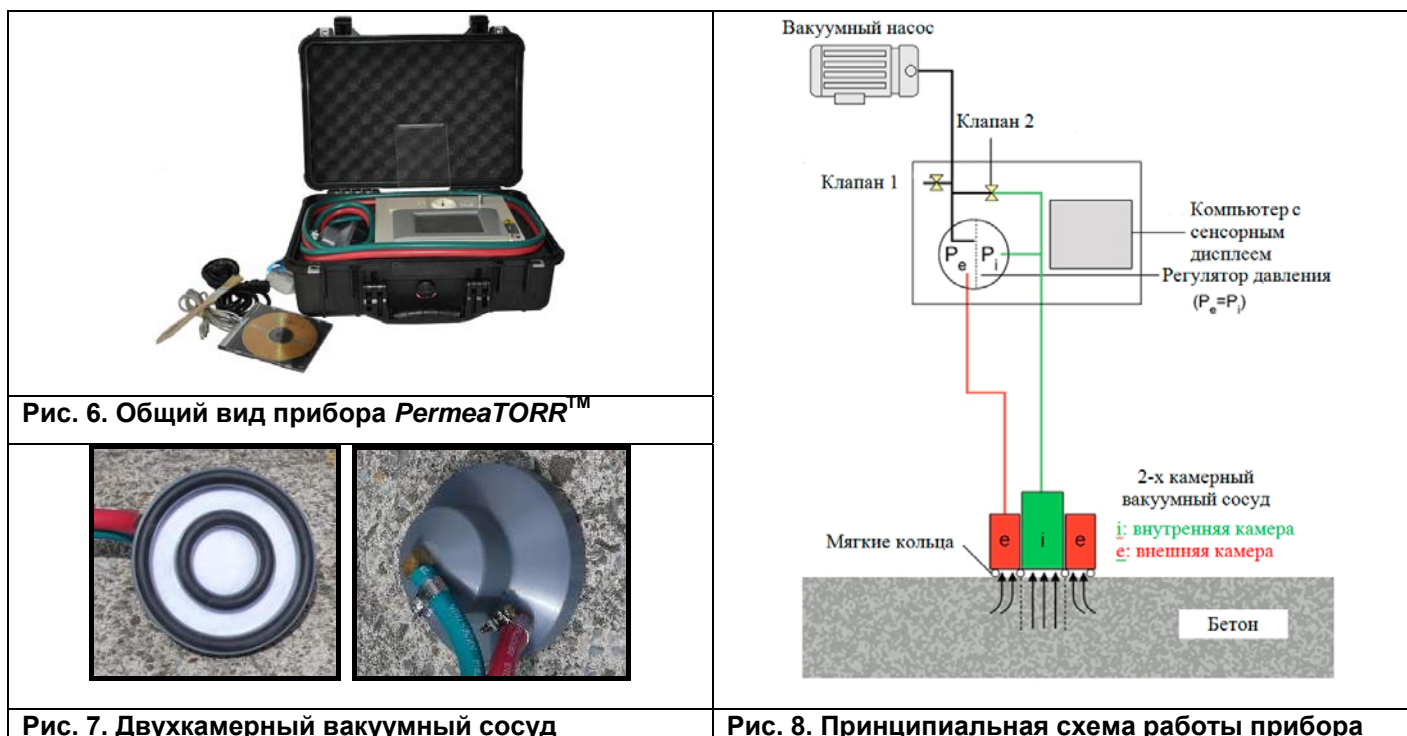
Приборы работающие по методу Торрента успешно применяются по всему миру в течение более чем 20 лет. Свидетельством популярности этого метода являются более 100 международных публикаций.

Долговечность железобетонных конструкций определяется, как мы уже сказали, состоянием защитного слоя бетона. Еще одна из важнейших задач диагностики: определение толщины защитного слоя бетона.

Оборудование, требуемое для проведения подобных исследований, включает электромагнитное устройство с питанием от аккумуляторной батареи, которое может использоваться для определения местонахождения арматуры и толщины защитного слоя бетона. Такое оборудование индуцирует магнитное поле в бетоне через зонд. Арматурная сталь создаст помехи в индуцированном поле, что приведет к изменениям поля пропорционально глубине или количеству стали в пределах индуцированного поля. Эти изменения внутри поля измеряются и регистрируются по показаниям счетчика.

По функциональной классификации такие приборы принадлежат к приборам для определения и измерения толщины защитного слоя бетона.

Стоит отметить, что большинство приборов для измерения толщины защитного слоя бетона имеют универсальную градуировочную кривую, которая может использоваться для получения приблизительных числовых значений глубины защитного слоя. Эта кривая не учитывает возможных различий в арматуре или в бетоне. При проведении лабораторных экспериментов отмечаются различия в числовых значениях, полученных при практическом измерении арматуры на заданной глубине и вычисленных по универсальной кривой.



Передовые современные технологии позволили изменить эту ситуацию и учесть все предыдущие недостатки в приборах нового поколения. Показательным примером стал Profoscope фирмы PROCEQ (Швейцария). Его характеристики полностью соответствуют требованиям целого ряда европейских стандартов (в т.ч. BS1881 часть 204; DIN1045 и др.) Функции обнаружения арматурных стержней, определения толщины защитного слоя бетона и измерения диаметра арматуры реализуются прибором, состоящим из одного компакт-



ного блока (рис.9). Profoscope специально разработан для управления одной рукой. Все функции реализуются путем нажатия двух функциональных кнопок и установкой настроек меню с помощью джойстика. В момент прохождения над арматурным стержнем прибор сообщает об этом звуковым и визуальным сигналами, направление стержня под прибором визуализирует светодиодный индикатор. Жидкокристаллический дисплей отображает ось арматурного стержня, толщину защитного слоя бетона и диаметр арматуры (при нажатии кнопки "измерение диаметра"). Прибор модификации Profoscope+ имеет функцию записи результатов измерений, а программное обеспечение ProfoLink позволяет экспортировать в ПК и обрабатывать собранные данные. Герметичный корпус, компактность и малый вес приборов Profoscope делают их незаменимыми для работы в условиях стройплощадки.

Принципиально новым стал хорошо зарекомендовавший себя прибор PROFOMETER для определения параметров армирования железобетонных конструкций (рис.10). Приборы новой серии PROFOMETER 600 (PROCEQ, Швейцария) обладают большим цветным дисплеем с высокой разрешающей способностью. Сенсорный дисплей позволяет легко управлять прибором, переходить в различные режимы сканирования, изменять настройки, а также просматривать и редактировать полученные значения на экране прибора непосредственно на месте проведения измерений. [3]

Стоит отметить, что прибор получил возможности обработки данных на уровне компьютера с помощью программы PM-Link, имеет флеш-память 8 Гб. Корпус прибора и датчик выполнены во влагостойком исполнении для работы в условиях строительного объекта. Универсальный датчик со встроенной беспроводной системой измерения пройденного пути совмещает функции трех датчиков: точечного (для измерений в местах большого скопления арматуры), стандартного и глубинного диапазона сканирования.



Долговечность железобетона в конечном итоге определяется коррозионным состоянием арматурного каркаса. Коррозия арматуры в железобетоне один из основных факто-

ров, приводящих к потере несущей способности конструкций. Поэтому прибор для обнаружения и оценки коррозионного состояния CANIN+ (PROCEQ, Швейцария) в первую очередь рекомендован там, где коррозия арматуры может повлечь за собой аварийное состояние конструкций и сооружений повышенной ответственности. К таковым относятся преднапряженные конструкции мостов, многопролетные здания, объекты атомных электростанций, тоннели транспортной инфраструктуры, коллекторы для инженерных коммуникаций.

В настоящее время используется совместное применение медно-сульфатных стержневых электродов, роликовых электродов и пробника Веннера. Таким образом, коррозия арматуры определяется двумя способами: измерением поля потенциала и определением удельного сопротивления бетона.

Метод анализа потенциала микрогальванической пары – точные измерения поля потенциала помогают обнаружить активную коррозию арматурных стержней. С другой сто-



Рис. 11 Прибор CANIN+



Рис. 12 Измерения прибором RESIPOD в натуральных условиях

роны, при определении удельного сопротивления бетона низкие значения этого параметра указывают как на серьезную вероятность наличия коррозионного процесса, так и на высокую скорость его протекания.

Сочетая измерение удельного сопротивления с измерением поля потенциала, можно получить более полное представление о коррозионном состоянии арматуры. Результаты измерений можно перенести в компьютер и построить карты локализации коррозионных зон в обследованной конструкции.

Кроме того, в ряде зарубежных стандартов, например [4], для контроля коррозионных процессов в железобетонных конструкциях регламентировано измерение удельного сопротивления как основного параметра. Это привело к созданию отдельного прибора RESIPOD (PROCEQ, Швейцария). Данный прибор можно также использовать для определения степени засоленности материала строительных конструкций.

**Выводы:** Диагностика конструкций, как основной инструмент качественного ремонта и восстановления эксплуатационных параметров сооружений невозможна без применения

современных приборов и оборудования. Рассмотренные в статье приборы на протяжении многих лет используются специалистами нашей организации для диагностики и неразрушающего контроля на объектах по всей стране. Диапазон обследованных объектов весьма широк: от атомных станций (Балаковская АЭС), гидротехнических сооружений (плотина ДнепроГЭС, гидроузлы в Подмосковье, Зейская и Нижнекамская ГЭС), гидротехнических тоннелей (Ирганайская ГЭС, тоннель Арпа-Севан), до тоннелей и станций метрополитена в Москве и Нижнем Новгороде; тоннелей для инженерных коммуникаций в Москве. Проводя весь комплекс работ по обследованию, реконструкции и ремонту (восстановлению) конструкций с применением современных приборов, оборудования и ремонтных материалов специалисты нашей организации добиваются хороших результатов, гарантируют выполнение всех работ на высоком уровне качества и надежности, обеспечивая тем самым увеличение межремонтных периодов.

Кроме того, вопросы долговечности конструкций невозможно рассматривать без учета всех направлений обследования и диагностики, подключая к решению конкретных задач и геотехнический мониторинг. Разрабатываемые нашей организацией совместно с ОАО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М.Герсиванова) СП «Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Инструментальное обеспечение» говорят о возможности применения современных средств и методик измерений для оценки надежности, своевременного выявления дефектов, предотвращения аварийных ситуаций, т.е. в конечном итоге о повышении долговечности строительных конструкций.

Рассмотренные в статье приборы представляют лишь малую часть приборов неразрушающего контроля, обеспечивающих долговечность бетона конструкций. Мы постарались заострить внимание лишь на наиболее важных современных приборах, большинство которых используются в натурных исследованиях нашей организацией.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Кириленко А.М. Диагностика железобетонных конструкций и сооружений // Из-во «Архитектура-С», Москва, 2013
2. Степанова В.Ф. Долговечность бетона // Ассоциация строительных вузов, Москва, 2014
3. Кириленко А.М., Алешин Т.Р., Знайченко П.А. Современные прибора для контроля состояния бетонных и железобетонных конструкций // Материалы семинара НИИ Мосстрой, Москва, 2014
4. Стандарт AASHTO TP 95-11 American Association of State Highway and Transportation Officials “Индикация устойчивости бетона к проникновению ионов хлорида посредством измерения удельного сопротивления поверхности”