

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время на российском рынке присутствует большое количество отечественного и импортного оборудования для определения параметров состояния строительных конструкций, однако серийные ряды приборов пополняются, выпускаются новые модификации приборов, хорошо зарекомендовавших себя стабильной работой и работающих по известным методам контроля. Традиционные методы обследования подробно рассмотрены, например, в [1]. Поэтому обратим внимание, в первую очередь, на новые приборы.

Один из самых широко применяемых методов это - определение прочности бетона склерометрическим методом. Уже получил достаточную известность прибор SilverSchmidt, работающий по несколько новому принципу определения прочности бетона.



Рис. 1 Прибор SilverSchmidt



Рис. 2 Определение прочности прибором SilverSchmidt

В данном приборе реализован алгоритм измерения скорости отскока ударной системы молотка от поверхности бетона (в отличие от измерения высоты отскока по стандартной склерометрической методике), вычислении отношения скоростей отскока к постоянной скорости движения ударной системы молотка до удара по бетону и установлении связи этой величины с прочностью бетона. По оценкам, проведенным за рубежом (в частности, институтом BAM (Федеральный институт исследования и тестирования материалов, Германия)), данный прибор обладает наименьшим разбросом результатов измерений по сравнению с “классическими” молотками SCHMIDT.

Среди серийного ряда молотков SCHMIDT интересны так называемые “маятниковые молотки”. Один из них – модель OS-120 PT – предназначен для испытаний материалов с низкой прочностью, таких как легкий бетон, штукатурка, свежесушенный бетон (для определения времени снятия опалубки) методом упругого отскока. Другая модель – OS-120 PM – единственный серийно выпускаемый в Европе (Proceq, Швейцария) и доступный на российском рынке прибор для определения прочности кладочного раствора неразрушающим методом.



Рис. 3 Определение прочности штукатурки маятниковым молотком SCHMIDT OS-120 PT



Рис. 4 Маятниковый молоток SCHMIDT модель OS-120 PM

В настоящее время пополнился спектр приборов, реализующих другой известный неразрушающий метод определения прочности бетона – метод отрыва. Это приборы серийного ряда DYNA DY. Данные приборы для определения прочности на отрыв диска от поверхности (или адгезиметры) предназначены для определения поверхностной прочности самого бетона (когезии), а также измерения адгезии к бетону покрытий любого типа (раствора, штукатурки, пластичных и термопластичных материалов и т.д.).

Преимущества данных приборов заключаются в их высокой точности (погрешность не более $\pm 2.0\%$), мобильности и возможности установки в любой точке (горизонтальных и вертикальных поверхностей); автоматическом, плавном характере увеличения прилагаемой нагрузки; небольшой массе; независимости от внешних источников питания.



Рис. 5 Прибор DYNA DY-225



Рис. 6 Определение адгезии ремонтного состава в лаборатории

Для получения более точных результатов при испытаниях материалов с малой прочностью (например, штукатурок, цементно-песчаных стяжек) применяются приборы с небольшим усилием на отрыв DY-206, максимальное развиваемое усилие 6 кН. В основном приборы с таким усилием на отрыв применяются для испытаний различных гидроизоляционных материалов, нанесенных на бетон. Для определения прочности на отрыв бетона, а также определения адгезии нанесенных на бетон защитных покрытий применяют приборы с максимальными развиваемыми усилиями 16 или 25 кН соответственно, максимальная прочность на отрыв составляет 8,1 и 12,7 МПа.

Принципиально новым стал хорошо зарекомендовавший себя прибор PROFOMETER для определения параметров армирования железобетонных конструкций. Приборы нового поколения серии PROFOMETER 600 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.



Рис. 7 Прибор PROFOMETER PM-600



Рис. 8 Работа прибором серии PROFOMETER 600

Стоит отметить, что прибор получил возможности обработки данных на уровне компьютера, имеет флеш-память 8 Гб, позволяющую запомнить большие массивы данных, а затем продолжить обработку полученных значений в офисе после работы на строительном объекте либо непосредственно в электронном блоке прибора, либо на персональном компьютере с помощью программы PM-Link.

Корпус прибора и датчик выполнены во влагостойком исполнении для работы в условиях стройплощадки. Универсальный датчик включает точечный датчик (для измерений в местах большого скопления арматуры), датчик стандартного и глубинного диапазона сканирования. Универсальный датчик оснащен съемным картриджем со встроенной беспроводной системой измерения пройденного пути.

Аналогичное инновационное исполнение получил известный ультразвуковой прибор PUNDIT.



Рис. 9 Прибор PUNDIT PL-200



Рис. 10 Работа прибором PUNDIT на стройплощадке

Как и в предшествующих моделях данного прибора, в нем реализуется традиционное измерение времени прохождения и скорости распространения ультразвукового импульса, построение годографа, определение глубины трещины, выходящей на поверхность, а также скорости поверхностной волны. Определить однородность бетона можно и помощью новой функции зонального сканирования. Оценить прочность на сжатие возможно либо непосредственной тарировкой скорости распространения ультразвука, либо в комбинации со значением по методу отскока (метод SONREB).

Огромный плюс состоит в возможности визуализации волновой картины времени распространения упругих волн непосредственно на экране прибора, без дополнительного подключения осциллографа или компьютера. Все настройки можно менять с помощью сенсорного управления прямо по ходу работы на объекте, в зависимости от формы и амплитуды волн в конкретном участке обследуемой конструкции. Имеется возможность записи всех полученных волновых картин.

Значительно легче определить упругие характеристики бетона – модуль Юнга и коэффициент Пуассона. В качестве исходных значений берутся скорости распространения продольных и поперечных волн в изучаемой среде [2]. Для безошибочного определения времени прохождения поперечных волн применяются специальные преобразователи поперечных волн. Для определения задач по дефектоскопии бетона существует большой выбор ультразвуковых преобразователей с более низкими (24 кГц) по сравнению со стандартными (54 кГц) или высокими частотами (150, 250 и 500 кГц), а также экспоненциальные преобразователи.

Большим достижением является возможность оснащения прибора преобразователем эхо-импульса, позволяющим проводить ультразвуковую томографию бетона.



Рис. 11 Преобразователь эхо-импульса прибора PUNDIT PL-200 PE



Рис. 12 Работа прибором PUNDIT PL-200 PE

Данная методика особенно эффективна при одностороннем доступе к конструкции (тоннели, подземные сооружения и пр.). Она позволяет определять толщину конструкций, наличие и месторасположение пустот, труб, расслоений и ячеистых структур. Применяя данный преобразователь, мы можем также получить вид конструкции в поперечном разрезе, перпендикулярном сканируемой поверхности. Мощное программное обеспечение и цифровые фильтры, задаваемые пользователем, улучшают качество получаемого изображения.

Коррозия арматуры в железобетоне – основной фактор, приводящий к образованию трещин и разрушению защитного слоя бетона, а при уменьшении сечения рабочей арматуры – к потере несущей способности конструкций. Поэтому прибор для обнаружения и оценки коррозионного состояния CANIN+ 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. За более чем 20-летнюю историю работы прибора комплектации претерпевали

различные изменения, и в настоящее время используется совместное применение медно-сульфатных стержневых электродов, роликовых электродов и пробника Веннера.



Рис. 13 Прибор CANIN+



Рис. 14 Работа стержневым электродом прибора CANIN+

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 стороны, 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 [3], для контроля коррозионных процессов в железобетонных конструкциях регламентировано измерение удельного сопротивления как основного параметра. Это привело к созданию отдельного прибора RESIPOD. Данный прибор можно также использовать для определения степени засоленности материала строительных конструкций.

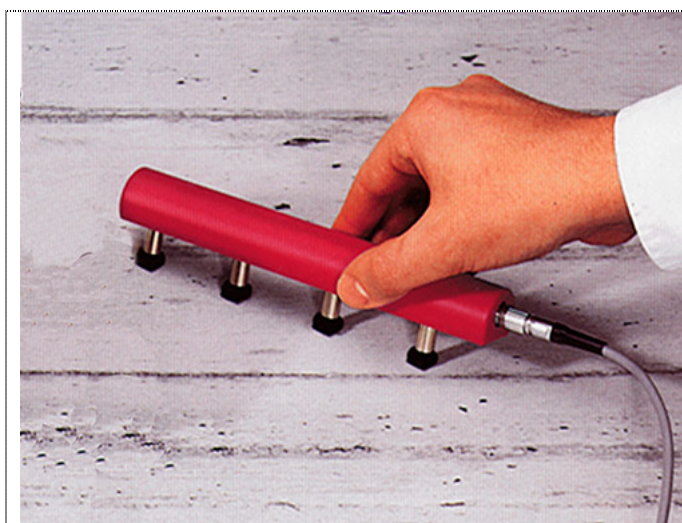


Рис. 15 Пробник Веннера



Рис. 16 Измерения прибором RESIPOD в натуральных условиях

При ведении работ способом монолитного бетонирования особое значение приобретает обеспечение необходимых строительных характеристик бетона как на стадии приготовления смеси, так и в готовой конструкции. В первую очередь это требования по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости. Последние две характеристики особо важны, когда конструкция эксплуатируется в условиях переменного замораживания-оттаивания (водонасыщения), а также в агрессивной среде: это бетоны для мостовых конструкций, дорожных покрытий, аэродромов и т.п.



Морозостойкость напрямую связана с объемом вовлеченного воздуха в бетонную смесь, что регламентируется нормативными документами [4]: 2-4% в железобетонных конструкциях и 5-6% в бетонах мостового полотна. Объем вовлеченного воздуха в бетонную смесь можно легко определить компрессионным методом, с помощью прибора поромера объемом 8л. Для этого нижнюю часть прибора (чашу) заполняют 8 литрами бетонной смеси, уплотняют и разравнивают. Чашу затем закрывают верхней частью, проводят нагнетание воздуха с помощью ручного насоса прибора и в результате нескольких простых операций считывают со шкалы прибора значение объема вовлеченного воздуха в процентах. Прибор очень прост в использовании, применяется непосредственно в месте производства бетонных работ, надежен при длительной эксплуатации и эффективен.

Рис. 17 Прибор для измерения объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси

Кроме вышеупомянутых методов диагностики, в последнее время получили распространение специализированные методы, такие как георадиолокационный, томографический, тепловизионный.

Георадиолокационный метод позволяет определять:

- нарушения контакта обделок транспортных тоннелей с грунтом;
- местоположение арматурного каркаса;
- состояние строительных конструкций (наличие трещин, увлажненных участков, скрытых дефектов);
- влажность конструкций.



Георадиолокационное диагностирование проводится с использованием аппаратных и программных средств, специальных приборов - георадаров. Для зондирования среды используются георадары непрерывного и импульсного действия. Блок управления радаром связан с антенным блоком, который в зависимости от задач исследований может меняться. Основное отличие антенных блоков – центральная частота излучаемого сигнала, в зависимости от которой меняется глубинность и разрешающая способность исследований.

Рис. 18 Внешний вид типичного георадара с экранированной антенной

В стандартную комплектацию современного георадара обычно входят основной блок управления радаром и различные антенные блоки.

Применение томографических подходов в ультразвуковой диагностике состояния железобетонных конструкций нашло применение относительно недавно и уже завоевало заслуженное признание во всем мире. Ультразвуковой томограф А1040 MIRA, выпускаемый отечественной компанией АКС, предназначен для поиска в конструкциях инородных включений, полостей, расслоений и трещин, а также измерения толщины объекта контроля.

Ультразвуковой томограф А1040 MIRA, представляющий собой полностью автономный измерительный блок, главным элементом которого является 48-ми-канальная антенная решетка, безусловно, является дефектоскопом нового поколения. Преобразователи поперечных волн с сухим точечным контактом позволяют работать по относительно неровным поверхностям без применения контактной смазки. Принцип работы прибора основан на методе синтеза фокусируемой апертуры в сочетании с комбинационным зондированием (SAFT-C), что позволяет провести фокусировку ультразвука в каждой точке полупространства.

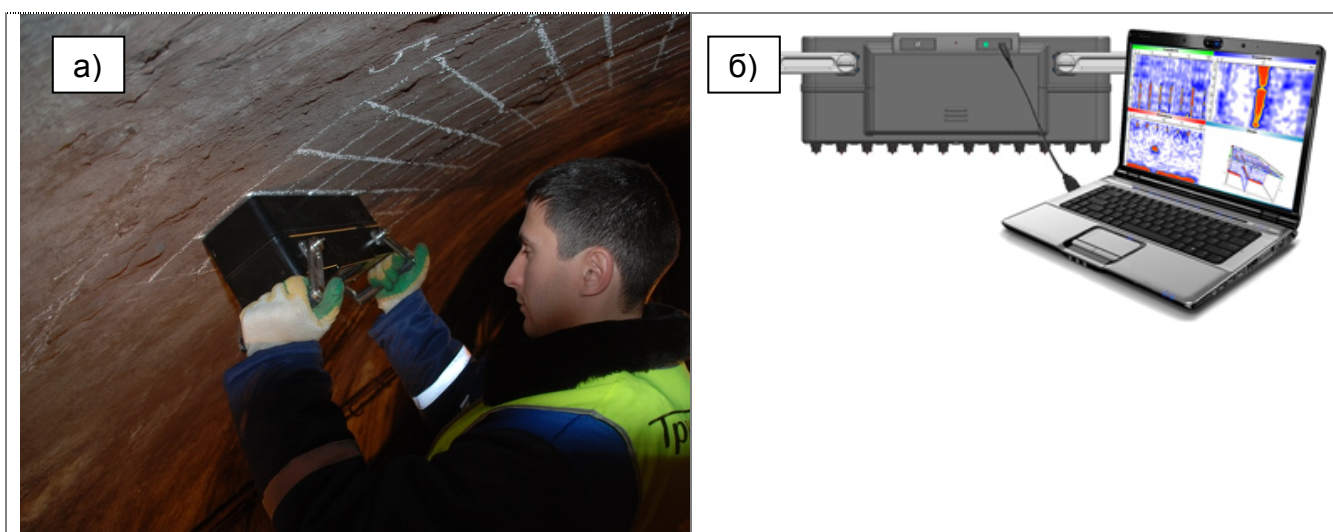


Рис. 19 Ультразвуковые томографические исследования монолитного бетона в тоннеле: процесс съемки информации (а), программное обеспечение для обработки и представления результатов (б)

Тепловизионный метод обладает такими преимуществами, как дистанционность и наглядность. Термографические исследования позволяют определить однородность строительных материалов, вычленить дефекты и места изменения свойств материалов конструкции, выявить влияние различных теплопроводных включений на температуру поверхности, определить эффективность слоя теплоизоляции, теплоизоляционные качества стыков различных конструкций, теплорадиационные характеристики строительных материалов и другое.

Имеющиеся трудности применения метода обусловили его редкое использование в практике диагностики. Однако за последнее время существенно шагнуло вперед аппаратное оснащение для инфракрасной термографии. Современные тепловизоры позволяют получить цветную картину распределения температурного поля по конструкции (высокого разрешения), повысить чувствительность измерений вплоть до $0,02^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, аппаратура позволяет эффективно работать и пассивным тепловым методом, который заключается в измерении естественного теплового поля конструкций. При этом система обнаружения (тепловизор) последовательно перемещается вдоль конструкции. Полученные термограммы приводятся к единому температурному диапазону, могут быть сведены в общую систему для получения карты распределения температуры по поверхности конструкции. Тепловая карта наблюдаемой зоны отражает связь между теплопередачей в изучаемой среде (в нашем случае в конструкции) и ее строением.



Рис. 20 Тепловизор ThermaCAM P65 (FLIR)



Рис. 21 Тепловизор ИРТИС-2000

Вышеописанные приборы позволяют повысить точность измерений, обладают повышенной мобильностью, дают возможность предварительной обработки измеренных значений непосредственно на стройплощадке. Такие достоинства уже позволили им найти свое место как при контроле строительства, так и на стадии эксплуатации строительных объектов различного назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кириленко А.М. Диагностика железобетонных конструкций и сооружений // Издательство “Архитектура-С”, - М., 2013.
2. Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. Пер. с румынск. М., Стройиздат, 1974.
3. 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”.
4. СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы.