

О НЕКОТОРЫХ ОШИБКАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

*Улыбин А.В., к.т.н., начальник отдела
«Обследование зданий и сооружений» ПНИПКУ «Венчур»*

Для определения технического состояния обследуемой конструкции, а также возможности увеличения нагрузок выполняется поверочный расчет. Грамотное выполнение расчета является непростой задачей и требует определенных навыков, высокой квалификации и опыта специалиста. Расчет, как правило, является одной из самых сложных задач, решаемых при обследовании. Однако нельзя забывать, что основой расчета являются данные, полученные в ходе натурных исследований. От достоверности данных, погрешности измерения, правильности применения тех или иных методов контроля полностью зависит результат расчета и, соответственно, итог работы.

В настоящее время широко распространены методы инструментальных измерений различных параметров конструкций. Большинство из них относится к неразрушающим. Однако, к сожалению, часто приходится сталкиваться с несоблюдением технологии применения методов, сокращением объема контроля, не выполнением подготовительных работ и прочими технологическими нарушениями. В ряде случаев инструментальный контроль не применяется вообще, а данные для расчета «берутся с потолка», обычно с большим запасом. Заказчик работ как правило не разбирается в сути работы и не имеет возможности оценить качество выполненного обследования.

Далее будут приведены некоторые из часто допускаемых ошибок в измерениях и на ряде примеров показано влияние этих ошибок на результат работ.

Определение длины свай

Для определения длины свай различного изготовления (забивные, буронабивные, буроинъекционные, стальные свай-оболочки) часто применяется сейсмоакустический метод [1]. Общая идея метода известна и относительно проста. В стержневом элементе возбуждается продольное колебание (акустический сигнал), которое, отражаясь от конца сваи, возвращается к датчику, установленному на ее оголовке. Измерительный комплекс определяет время между моментом возбуждения колебаний и приходом отраженной волны. Есть большое количество нюансов, которые делают более или менее

сложной интерпретацию полученного сигнала (условия доступа к оголовку, наличие дефектов в теле сваи, наличие в геологическом разрезе резко отличающихся по своим свойствам грунтов и др.). В некоторых случаях по полученной рефлектограмме нельзя однозначно установить длину сваи, в особенности, когда нет хотя бы приблизительных данные о ее значении. Описанию этих проблем и путей их устранения можно посвятить отдельную работу. Здесь отметим только один важный компонент, обязательно необходимый для решения поставленной задачи. Это данные о скорости распространения стержневой волны в материале сваи. В любом случае, при использовании описываемого метода необходимо знать эту скорость, иначе по измеренному времени между сигналами определить длину пути невозможно.

Как можно решить эту проблему? В инструкциях к приборам указано, что необходимо взять эталонную сваю, выполненную аналогично исследуемым и не погруженную в грунт. На этой свае определить скорость распространения волны в материале и использовать эти данные в ходе контроля. При контроле свайного поля в процессе забивки свай это выполнить возможно. При выполнении обследования уже построенного здания об этом не может быть речи.

Некоторые специалисты считают, что скорость можно принять примерно, по виду исследуемого материала. Для стальных свай это действительно возможно, так как даже при неизвестной марке скорость акустических волн в различных сталях отличается незначительно. То же самое нельзя сказать о бетоне, повсеместно применяемом для изготовления свай. Возраст, плотность, вид заполнителя и другие факторы будут существенным образом влиять на величину скорости распространения волн. Например, в бетоне на известняковом гравии нормальной плотности скорость волн составляет 3600 м/с, при этом в бетоне на гранитном заполнителе скорость имеет значения около 4300 м/с. Таким образом, принятие неверного значения скорости приведет к погрешности измерения в 15...20%. Это соответствует ошибке в определении длины сваи на 1..2 и более метров, в зависимости от ее длины.

Чтобы перейти от этой ошибки к ошибке в определении несущей способности сваи приведем следующий пример. На одном из обследованных объектов, расположенных в центральной части Санкт-Петербурга, необходимо было определить возможность

надстройки. Фундамент по результатам изысканий оказался свайным из забивных свай квадратного сечения со стороной 350 мм. По результатам исследований, выполненных подрядной организацией при помощи сейсмоакустического метода была определена длина свай. При этом скорость волн в бетоне не измерялась, а была принята среднестатистической «по городу». Геологические условия участка застройки характеризуются наличием разнородных слабых грунтов невыдержанной мощности. В связи с этим по данным статического зондирования грунта несущая способность свай с изменением длины всего на 1 м изменялась до 20 тс. При этом с увеличением длины несущая способность свай могла как возрасти, так и понизиться. Очевидно, что в данных условиях точность определения длины очень важна.

Как в условиях обследования можно определить скорость распространения волн в материале свай? Для этого можно использовать ультразвуковой метод. На обнаженном участке свай определяется скорость продольных ультразвуковых волн. Для этого выполняется сквозное прозвучивание. Пересчет из скорости продольных волн в скорость стержневых производится по

зависимости
$$\frac{V_d}{V_p} = \sqrt{(\mu + 1) \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu}},$$

где V_d – скорость стержневой волны; V_p – скорость продольной волны; μ – коэффициент Пуассона.

В дополнение этой темы приведем еще один пример, показывающий важность измерения скорости распространения волн. На реконструируемом объекте имелась необходимость определить фактическую длину буроинъекционных свай диаметром 200 мм, выполненных с пола подвального помещения. Доступ был только к оголовкам свай, расположенным в один уровень с полом. С точки зрения доступа для установки датчика и выполнения измерений этот вариант является одним из самых простых. По результатам измерений были получены рефлектограммы, большая часть которых была проста для обработки и интерпретации формы сигнала отклика. Оставалось задать скорость волны.

Определить скорость ультразвука сквозным прозвучиванием в данных условиях не представляется возможным. Для решения задачи было принято решение выбурить из оголовка свай керны, расположенные соосно свае. Чтобы не повредить арматурный каркас, расположенный в центре свай, бурение выполнялось коронкой

диаметром 60 мм. По результатам бурения было выявлено, что бетон свай имеет низкое качество с частичным отсутствием вяжущего, низкой плотностью, расслоениями и пр. Скорость стержневой волны, пересчитанная по результатам ультразвуковых измерений составила 2950 м/с, что для бетона на гранитном заполнителе является крайне низким. В данном случае при принятии в качестве скорости «среднегородского значения» около 4200 м/с ошибка в определении длины составила бы 40%, причем в большую сторону.

Определение прочности бетона

Одной из наиболее часто встречающихся задач при обследовании различных конструктивных элементов является определение прочности бетона. Касательно погрешности измерения и возможности применения различных методов контроля в реальных условиях обследования различными авторами написано много работ. В работе [2] показано, что в условиях рядовых объектов обследования без возможности построения частной градуировочной зависимости необходимо применять только регламентируемые нормативами [3,4] разрушающие и прямые неразрушающие методы контроля. В работе [5] обосновано, что среди известных прямых методов неразрушающего контроля прочности бетона оптимальным по большинству характеристик является метод отрыва со скалыванием.

В подавляющем большинстве случаев, с которыми приходится сталкиваться при анализе отчетов и заключений, выполненных различными организациями, для определения прочности бетона применяются косвенные методы неразрушающего контроля. При этом требования по построению или корректировке используемых градуировочных зависимостей, как правило, не выполняются. Не учитывается и такой, повсеместно встречающийся фактор, как карбонизация поверхностного слоя бетона и ее глубина. При этом завышение прочности бетона может составлять 50% и более, как, например, показано в работе [5]. Обратной стороной «медали» является занижение результата измерений за счет измерения прочности на поверхностном слое. При этом играют существенную роль такие факторы как поврежденность защитного слоя в процессе эксплуатации или вследствие нарушений технологии изготовления бетона. Об этих проблемах подробно написано в работе [6].

В совокупности, пренебрежение требованиями к правильному проведению измерений приводит к ошибке в результате достигающей

2 и более раз от истинной прочности как в большую, так и в меньшую сторону. При этом ошибка в расчете несущей способности элементов будет весьма существенной, и как показано в работе [7] не только для сжатых, но и для изгибаемых элементов.

Определение прочности материалов каменной кладки

Как и при обследовании бетонных конструкций для определения прочности материалов каменных конструкций часто используются методы неразрушающего контроля. В работе [8] показано, что использование косвенных методов не только не регламентируется стандартами, но и в большинстве случаев невозможно по причине отсутствия тесной корреляционной связи между измеряемым параметром (отскок от поверхности, скорость ультразвука и др.) и прочностью кирпича и раствора.

При обследовании кирпичного общественного здания постройки начала XX века в ходе анализа имеющейся документации был встречен отчет по обследованию. По результатам обследования стены здания признавались аварийными, что в частности подтверждалось расчетом наиболее нагруженного простенка. Прочность раствора была определена ультразвуковым методом признана соответствующей марке М4. При этом измерения выполнялись по поврежденному эрозией внешнему слою растворных швов. Прочность кирпича определена по лабораторному испытанию кирпичей и признана соответствующей марке М100. Однако кирпичи отобраны из подвального и чердачного помещений в количестве 5 штук на все здание.

По результатам инструментального обследования, выполненного ПНИПКУ «Венчур» выявлено следующее. Для определения прочности кирпича выполнен отбор 30 кернов из стен в уровне первого этажа. По результатам испытаний на сжатие выявлено наличие в кладке кирпича различного вида с существенно отличающейся прочностью. Кирпич первой группы имел прочность в пределах 150-270 кгс/см², а во второй 360-590 кгс/см². Для расчета в запас принята меньшая прочность и расчетная марка кирпича М150. Раствор из швов отобран также с помощью алмазного сверления. Испытания раствора на сжатие по 10 образцам показали прочность в диапазоне 31 – 109 кгс/см², что при обработке по требованиям норм соответствует марке М50.

Помимо заниженных значений прочность размеры поперечного сечение наиболее нагруженного простенка по непонятным причинам

были также занижены. По результатам уточненных расчетов несущая способность всех простенков в здании оказалась обеспеченной и аварийность стен была снята.

Определение прочности стали

При обследовании несущих конструкций, выполненных из стали, для определения прочности необходимо выполнять отбор образцов. Известен альтернативный метод косвенного контроля прочности, основанный на измерении твердости металла. По результатам исследований [9] показано, что на достоверность измерений, выполняемых в полевых условиях с помощью портативных твердомеров, влияет много факторов. Среди них выбор метода контроля, участка контроля, способ обработки поверхности и другие. Также значительную роль играет выбранный метод пересчета твердости в прочность. Основным же фактором, не освещенным в опубликованных ранее работах и определяющим невозможность контроля прочности по твердости, является следующее. Как известно твердость металла имеет тесную связь с его пределом прочности (временным сопротивлением). В расчетах же используется величина предела текучести (упругости). При этом у применяемых в строительстве сталей отношение между указанными пределами варьируется в широком диапазоне.

Например, по требованиям ГОСТ 535-2005 сталь марки СтЗсп, используемая для проката, может иметь фактический предел прочности в диапазоне 380-490 МПа. В то же время сталь марки 09Г2С, используемая при изготовлении проката более высокой прочности по ГОСТ 19281-89, имеет предел прочности в диапазоне 430-490 МПа. Таким образом, при одинаковом временном сопротивлении, которое может быть оценено по измерению твердости, пределы текучести и, соответственно, расчетные сопротивления сталей могут отличаться на 100 МПа и более.

В начале 2014 г отдел обследования ПНИПКУ «Венчур» проводил обследование двух стальных подкрановых балок, установленных на крановой эстакаде завода. Обе балки пролетом 18 м имели идентичные габариты, толщины, конструкции ребер и работали в одном пролете (располагались друг напротив друга). По результатам лабораторного анализа образцов из полок и стенок обеих балок были выявлены механические свойства и химический состав металла, представленные в таблице. По данным, представленным в таблице видно, что идентичные по внешним признакам балки

выполнены из различных марок сталей с соответствующими расчетными сопротивлениями. Однако предел прочности сталей имеет близкие значения. В случае применения на данном объекте метода измерения твердости без других методов контроля, балки были бы признанными выполненными из одного материала, что существенно исказило бы результаты расчета.

Элемент отбора	Марка стали	Ср. значение предела текучести, σ_B , МПа	Ср. значение предела прочности, σ_T , МПа
Полки балки №1	09Г2С	361	519
Полки балки №2	Ст3Гсп	247	495

К сожалению, часто выполняются работы, в ходе которых не проводится никаких инструментальных измерений для определения свойств металла. Причиной этому служит, с одной стороны, безграмотность исполнителей, нежелание выполнять трудоемкие работы или снижение объема контроля для удешевления работ и за счет этого победы в «конкурентной борьбе» [10]. С другой стороны неосведомленность заказчика, стремление сэкономить и нежелание выполнения любых работ, связанных с разрушением конструкций и отделочных слоев.

Чем менее ответственная конструкция, тем реже выполняется инструментальный контроль. Характерным примером являются стальные балки междуэтажных перекрытий, при обследовании которых работы по определению прочности металла выполняются довольно редко. Приведем один характерный пример. В Доме с четырьмя колоннадами постройки середины XVIII века, расположенном в центральном районе Санкт-Петербурга, выполнялась реконструкция с увеличением нагрузки на перекрытия. Перед началом работ по реконструкции было выполнено техническое обследование. Расчет перекрытий производился на основе принятого по указаниям норм [3] расчетного сопротивления стали, изготовленной до 1932 г величиной 167 МПа. По результатам расчета все балки междуэтажных и чердачных перекрытий не удовлетворяли требованиям обеспечения прочности.

В ходе реконструкции после удаления пола, потолков и конструкций наката в отделе обследования ПНИПКУ «Венчур» было заказано детальное обследование балок. В связи с выявлением в ходе визуального обследования и обмерных работ большого числа различных типоразмеров двутавровых балок было принято решение

об отборе 20 образцов стали. По результатам механических испытаний на растяжение значения предела текучести варьировались в интервале 235 – 428 МПа, что существенно выше принятого в расчетах предыдущего обследования. По результатам расчета с учетом фактической прочности металла у части балок перекрытий был выявлен запас прочности при воздействии проектных нагрузок, что позволило избежать их бессмысленного усиления и замены.

Выводы

Для обеспечения качества работ и определения действительного технического состояния конструкций необходимо применять соответствующие решаемой задаче методы инструментального контроля. Очень важно соблюдать правила их применения и объем исследований, позволяющий достоверно определить, используемые в расчетах, параметры материалов. В противном случае выводы по результатам обследования могут быть ошибочными, что впоследствии приведет либо к перерасходу материальных ресурсов, либо к ухудшению состояния объекта вплоть до аварийного.

Литература

1. Улыбин А.В., Корнев В.В., Метод контроля длины стальных свай-оболочек // Строительство уникальных зданий и сооружений 2013. № 1 (6).
2. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 10-15.
3. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
4. ГОСТ 18105 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
5. Улыбин А.В., Федотов С.Д., Тарасова Д.С. Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений // Мир строительства и недвижимости. 2013. № 47.
6. Штенгель В.Г. О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений // В мире НК. 2009. №3. С.56-62.
7. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений.-СПб: Издательский Дом KN+, 2001.-140 с.
8. Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 29-34.
9. Улыбин А.В., Рогозин П.А. Применение зависимости "прочность - твердость" при обследовании стальных конструкций с помощью портативных твердомеров // СтройМеталл. 2011. №4(23). С.25-27
10. Улыбин А.В., Зубков С.В. Проблемы ценообразования на рынке обследования зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 53-56.