

тивных форм, основанной на методе конечных элементов, позволило достаточно точно характеризовать их работу под действием нагрузок.

2. Степень неравномерности распределения нормальных напряжений по ширине обшивки, характеризуемая коэффициентом приведения $k_{об}$, зависит в основном от шага несущих ребер и толщины обшивки, причем увеличение шага ребер с 750 мм (min) до 3000 мм (max) приводит к уменьшению коэффициента приведения $k_{об}$ на 58...67%, а толщины обшивки с 32 мм до 40 мм обеспечивает увеличение $k_{об}$ на 6...22%. Влияние фактического значения пролета конструкции и величины продольных сжимающих сил с достаточной для практических целей точностью можно учесть при помощи введения в расчет поправочных коэффициентов k_1 , k_e .

3. Выявлено, что в предложенных конструктивных формах устойчивость сжатой клеодощатой обшивки обеспечивается за счет ее толщины до достижения изгибаемой или сжато-изгибаемой панели предельного состояния.

4. Полученные формулы и коэффициенты обеспечивают адекватный переход от пространственной системы к плоской «балочной» схеме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ на полезную модель №36404. МПК E04B 1/10. Утепленная стена вертикальной разрезки / *Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Дмитриев П.П., Сагантаев Д.В.* // Оpubл. 10.03.2004, Бюл.7. – 6с.

2. *Жаданов В. И.* Деревянные панельные конструкции для малоэтажного строительство : монография / *В. И. Жаданов, Д. А. Украинченко.* – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 390 с. – ISBN 978-5-4417-0290-4 (объем 24,56 печ.л., тир. 500 экз.).

Улыбин А.В., канд. техн. наук, доц.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

О КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ

ON THE QUALITY OF BUILDINGS INSTRUMENTAL INSPECTION

Приведены примеры ошибок инструментального контроля различных параметров конструкций, используемых в расчете. Обосновано предпочтительное применение методов разрушающего контроля и испытания конструкций перед методами НК.

The examples of erroneous results of instrumental inspection used in the checking calculation are described. The preference of the destructive methods and testing of structures over NDT methods is shown.

Для определения технического состояния обследуемой конструкции, а также возможности изменения нагрузок выполняется поверочный расчет, который является одной из наиболее сложных и ответственных задач, решаемых при обследовании. Расчет может выполняться как поэлементно, так и путем анализа укрупненной модели различного масштаба и сложности, выполненной с учетом любых конструктивных материалов. В любом случае основой расчета являются данные, полученные в ходе натурных исследований [1,2]. От достоверности данных, погрешности измере-

ния, 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 принимаются по справочным данным или приблизительно. Иными словами, расчет выполняется в условиях «информационного дефицита» со всеми его параметрами [3]. Следствием этого является низкая достоверность результатов и, в лучшем случае, конструкции будут рассчитаны с большим запасом, а в худшем может произойти авария.

Рассмотрим некоторые из часто допускаемых при обследовании ошибок, а также их влияние на результат работ.

Определение несущей способности свай

При наличии в здании фундамента выполненного в виде свай вопрос определения их фактической несущей способности является одним из основных как в случае решения задачи о возможности увеличения нагрузок, так и при диагностике повреждений (например, вызванных неравномерной осадкой фундаментов).

Для определения данного параметра в условиях уже возведенного здания существует несколько вариантов. При наличии данных инженерно-геологических изысканий и известных параметрах свай (шаг, сечение, длина) определить несущую способность можно расчетом по формулам СП, либо по данным пересчета результатов статического зондирования грунта. На практике в качестве исходных данных, как правило, применяются данные архивных изысканий. Реже проводятся дополнительные исследования, в том числе статическое зондирование грунта. Считается, что в большинстве случаев использование данных статического зондирования позволяет определить несущую способность более достоверно. При этом в обоих случаях решающим является использование в расчете достоверных данных о фактической конструкции свай.

Шаг и сечение свай могут быть определены в шурфах. Длина свай определяется только косвенными методами, либо принимается соответствующей проекту (в случае наличия документации). При этом определение длины с использованием акустических методов часто сопровождается ошибками [4].

Более достоверным методом является непосредственное испытание свай под ростверком вдавливающей статической нагрузкой. Полученные в результате такого исследования данные не зависят от правильности определения габаритов свай и геологических условий. Данная работа при соответствующем технико-экономическом обосновании может быть выполнена на большинстве объектов. Однако на практике к этому методу прибегают редко, предпочитая экономию средств в ущерб достоверности результатов.

В таблице 1 приведен пример, показывающий различие результатов определения несущей способности свай, полученной при обследовании разными методами. Более подробно последовательность диагностики на данном объекте описана в работе [4]. Обследование выполнялось с целью определения возможности надстройки здания,

расположенного в Петроградском районе Санкт-Петербурга. Расчетная нагрузка на сваю после реконструкции составляла 71 тс.

Таблица 1

Несущая способность свай, полученная разными методами

Метод определения несущей способности забивной сваи сечением 0,35 x 0,35 м и длиной 13 м	Несущая способность Fd, тс	Максимально допустимая нагрузка N, тс**
Расчет по формулам СП 24.13330.2011	19,6	14,0
Расчет по результатам статического зондирования	52,8	42,2
Статическое испытание (по испытанию 2 свай)	90,0	75,0

По данным, приведенным в таблице понятно, что в случае косвенной оценки несущей способности было бы принято решение о невозможности надстройки без существенного усиления фундаментов. Стоимость работ по усилению многократно бы превысила стоимость работ по испытанию свай. О достоверности полученных данных можно судить по тому, что надстройка здания уже выполнена, а по результатам проводимого геодезического мониторинга дополнительные осадки, превышающие допустимые значения отсутствуют.

Определение прочности бетона

Одним из наиболее часто определяемых параметров бетона различных железобетонных конструкций является прочность на сжатие. Касательно погрешности измерения и возможности применения различных методов контроля в реальных условиях обследования различными авторами написано много работ. В том числе в работе [5] показано, что в условиях рядовых объектов обследования без возможности построения частной градуировочной зависимости необходимо применять только регламентированные нормами разрушающие и прямые неразрушающие методы контроля.

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 [6]. 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 [7].

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 [8] не только для сжатых, но и для изгибаемых элементов.

Определение прочности материалов каменной кладки

Как и при обследовании бетонных конструкций для определения прочности материалов каменной кладки часто используются методы неразрушающего контроля. Однако для получения достоверного результата необходимо сочетание неразрушающего контроля с лабораторными испытаниями. При этом испытание отобранных образцов должно проводиться как на современных зданиях, так и на памятниках архитектуры [1,9]. В работе [10] показано, что на большинстве объектов использование одних только косвенных методов невозможно по причине отсутствия тесной корреляционной связи между измеряемым параметром (отскок от поверхности, скорость ультразвука и др.) и прочностью материалов кладки.

При обследовании кирпичного общественного здания постройки начала XX века в ходе анализа имеющейся документации был изучен отчет по обследованию, выполненный сторонней организацией. 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 автором с коллегами 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 кирпичей различного вида с существенно отличающейся прочностью. Кирпич первой группы имел прочность в пределах 150-270 кгс/см², а 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.

В имеющемся отчете помимо заниженных значений прочности размеры поперечного сечения 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

Для определения прочности металла наиболее достоверным методом является испытание отобранных образцов. Альтернативным методом контроля прочности является косвенный метод, основанный на измерении твердости металла. Данный метод характеризуется такими неоспоримыми преимуществами, как высокая производительность и отсутствие повреждения конструкций. Поэтому в ряде работ он рекомендуется как основной [11].

Однако по результатам исследований [12] 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 автора 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 коллективом автора выполнено обследование двух стальных подкрановых балок, установленных на крановой эстакаде. 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.

Таблица 2

Прочностные параметры стали подкрановых балок

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

По данным, представленным в таблице 2 видно, что идентичные по внешним признакам балки оказались выполненными из различных марок сталей с соответствующими расчетными сопротивлениями (подобная ситуация встречается часто [11]). При этом 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.

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. С другой стороны, неосведомленность заказчика, стремление сэкономить и нежелание выполнения любых работ, связанных с нарушением целостности 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 СП 13-102-

2003 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 автором с коллегами было выполнено инструментальное обследование балок. В связи с выявлением в ходе визуального обследования и обмерных работ большого числа различных типоразмеров сечений 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. Неразрушающие методы контроля в большинстве случаев можно применять только для расширения выборки данных, основываясь при этом на результаты прямых испытаний материалов и конструкций. В противном случае выводы обследования будут ошибочными, что впоследствии приведет либо к перерасходу материальных ресурсов, либо к ухудшению состояния объекта вплоть до аварийного.

Предпочтительным видом исследования является испытание конструкций, которое при квалифицированном подходе является технически возможным для различных по конструкции зданий и сооружений [13], а также их частей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перунов А.С., Кунин Ю.С., Котов В.И.* Расчетный анализ напряженно-деформированного состояния исторической части здания «Круговое депо» // Промышленное и гражданское строительство, 2013.- № 5.- С. 50-51.
2. *Коргин А.В., Ермаков В.А.* Автоматизация формирования и коррекции расчетных моделей при мониторинге технического состояния зданий и сооружений // Интернет-Вестник ВолгГАСУ, 2012.- № 3 (23).- С. 35-39.
3. *Ким И.В., Еремин К.И., Нищета С.А.* Оценка долговечности поврежденных подкрановых балок в условиях неполноты, неопределенности, неточности и нечеткости данных // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды Всероссийской научной конференции, 2004.- Т. 1. С.- 116-118.
4. *Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю.* Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий // Инженерно-строительный журнал, 2014.- №4(48).- С. 17–27.
5. *Улыбин А. В.* О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал, 2011.- №4(22).- С. 10-15.
6. *Улыбин А.В., Федотов С.Д., Тарасова Д.С.* Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений // Мир строительства и недвижимости, 2013.- № 47.- С.15-18.
7. *Штенгель В.Г.* О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений // В мире НК, 2009.- №3.-С.56-62.
8. *Гроздов В.Т.* Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений.-СПб: Издательский Дом KN+, 2001.-140 с.

9. *Кунин Ю.С., Котов В.И.* Комплексное обследование памятников архитектуры для разработки проекта реставрации // Вестник МГСУ, 2011.- Т. 2. № 1.- С. 209-215.
10. *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.
11. *Еремин К.И., Матвеюшкин С.А.* Особенности экспертизы и НК металлических конструкций эксплуатируемых сооружений // В мире неразрушающего контроля, 2008.- № 4 (42).- С. 4-7.
12. *Улыбин А.В., Rogozin П.А.* Применение зависимости "прочность - твердость" при обследовании стальных конструкций с помощью портативных твердомеров // СтройМеталл, 2011.- №4(23).- С.25-27.
13. *Бондарович Л.А., Шувалов А.Н., Сафина Л.Х.* Натурные испытания балкона зрительного зала // Промышленное и гражданское строительство, 2008.- № 2.- С. 54-55.