

УДК 69.059

*А. В. Коргин, В. А. Ермаков*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И КОРРЕКЦИИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

В статье рассматриваются проблемы учета реальных условий эксплуатации конструкций в расчетных моделях сооружений в ходе мониторинга для оценки их фактического напряженно-деформированного и технического состояния.

**Ключевые слова:** мониторинг, расчетная (МКЭ) модель, коррекция, геодезическое оборудование, метод конечных элементов, лазерное сканирование, деформации, трещины.

The paper describes the problems of actual conditions under which constructions in computing models are operated. These conditions are taken into account when monitoring to evaluate their real stress-strain and technical condition.

**Key words:** monitoring, computing (FEM) model, updating, survey equipment, finite-element method, laser scanning, strain, cracks.

Как показывает опыт последних лет, происшедшие в различных регионах России и за рубежом многочисленные серьезные аварии строительных объектов сопровождаются значительными экономическими, социальными и моральными потерями. Эти аварии являются, в первую очередь, следствием ненадлежащего качества выполнения проектных и строительно-монтажных работ, а также нарушения условий нормативной эксплуатации сооружений.

Наиболее эффективным способом предотвращения аварийных ситуаций, в особенности для высотных, большепролетных и других ответственных сооружений, является контроль технического состояния несущих конструкций с помощью комплексных автоматизированных систем мониторинга, функционирующих в периодическом или постоянном режиме.

В ходе мониторинга объективная оценка технического состояния зданий и сооружений может быть получена только на основании результатов численных расчетов с обоснованной корректировкой расчетных моделей объектов, учитывающей изменения, произошедшие в ходе эксплуатации.

Таким образом, при поверочном расчете сооружения должна использоваться адекватная его текущему техническому состоянию расчетная модель, построенная на основе метода конечных элементов (МКЭ-модель) и корректируемая на основании результатов инструментальных измерений. Данная модель должна с контролируемой точностью позволять оценивать фактическое техническое состояние сооружений на текущем этапе мониторинга.

В настоящей статье описана разработанная на базе НОЦ ИИМСК МГСУ эффективная методика, позволяющая в реальном режиме времени, а значит за короткий период, автоматизированно проводить коррекцию расчетных моделей сооружений для оперативной численной оценки достоверного напряженно-деформированного состояния сооружений [1].

Для решения задачи коррекции выбран программный комплекс ANSYS, обладающий встроенным параметрическим языком программирования APDL.

Решение задач коррекции расчетных моделей в ANSYS осуществляется с помощью последовательных наборов команд (макросов), позволяющих формировать алгоритмы решения сложных комплексных инженерных задач в автоматизированном режиме.

Ниже рассмотрены основные параметры, которые должны быть учтены в ходе коррекции расчетных моделей.

*Изменение расчетной схемы сооружения, величин и характера приложения нагрузок.* С помощью визуального контроля и измерительных средств происходит оценка соответствия реальной расчетной схемы несущих элементов и конструктивных узлов проектной документации. Также проверяется соответствие существующих эксплуатационных нагрузок их расчетным и нормативным значениям. Зафиксированные изменения вносятся в ручном или автоматизированном режиме с помощью разработанных макросов в расчетную модель сооружения.

*Отклонения геометрических параметров конструкций от проектных значений.* Для контроля пространственного положения сооружения разработана методика мониторинга деформаций с помощью лазерного сканирования, описывающая [2]:

- различные схемы проведения работ;
- принципы создания опорной и деформационной сети;
- принципы обработки результатов сканирования.

Для решения задач мониторинга деформаций труднодоступных стержневых конструкций, расположенных на большой высоте, были разработаны подпрограммы FitLine.bas и Nodes.bas на языке программирования VisualBasic для AutoCAD, позволяющие проводить обработку облака точек, полученного в ходе сканирования пространственных конструкций, без установки специальных деформационных марок на контролируемые узлы.

В большинстве случаев при сканировании удаленного элемента получение полного облака точек, характеризующего всю геометрию его сечения, невозможно (рис. 1). С целью преодоления указанных затруднений в разработанной методике предлагается использовать так называемые аппроксимирующие (усредняющие) линии, проходящие через центр тяжести 3D-облаков точек, формирующих сечения стержней в условиях неполных данных. Аппроксимирующие линии в пространстве не пересекаются в одной точке. При идентичном объеме точечных данных аппроксимирующие линии смежных стержней позволяют получить «условный» пространственный узел, характеризующий положение конструкции на различных этапах мониторинга (рис. 2).

Коррекция расчетных моделей сооружений данными геодезических измерений в ходе мониторинга для оценки влияния неравномерных осадок основания на НДС конструкций осуществляется с использованием пространственно-координатных моделей сооружений (рис. 3) [3]. Зафиксированные перемещения контролируемых узлов ПК-модели сооружения в качестве нагрузок («наложенных» перемещений) прикладываются автоматически в соответствующие узлы расчетной модели с помощью специально разработанного макроса и интерполируются в основные узлы каркаса.

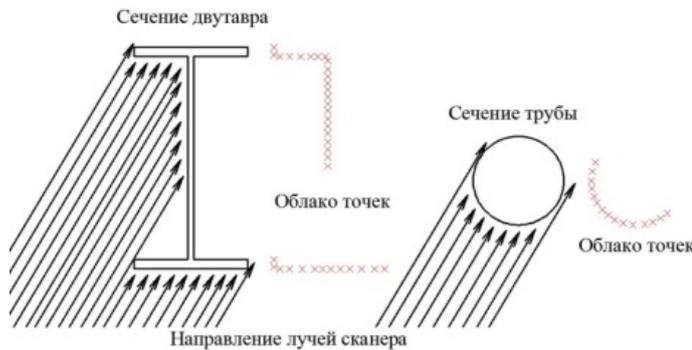


Рис. 1. Пример получения ограниченного облака точек, описывающего сечение двутавровой балки и трубы при удаленном сканировании

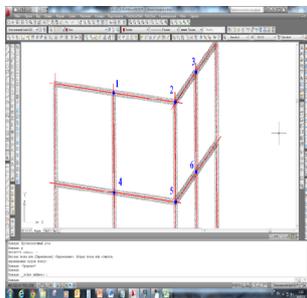


Рис. 2. Создание аппроксимирующих линий и условных узлов на примере фрагмента пространственного каркаса

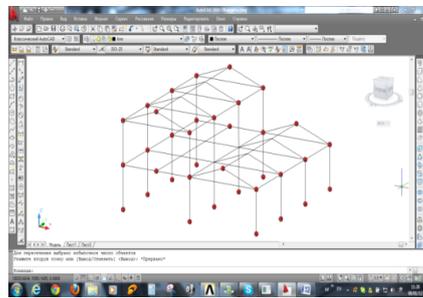


Рис. 3. ПК-модель условного металлического каркаса

*Фактические физико-механические свойства конструкционных материалов и грунтов оснований.* Важным компонентом методики коррекции расчетной модели сооружения является моделирование грунтов основания сооружения и учет их совместной работы. Современные методы и средства инженерной геологии позволяют получать наиболее полные данные о свойствах грунтов оснований, карстовых пустотах, разуплотнениях и т. д.

*Локальные дефекты и повреждения несущих конструкций.* С целью автоматизированного учета дефектов в расчетной модели с помощью внутреннего языка программирования APDL разработан ряд управляющих макросов:

макрос ввода поперечной трещины в сечение металлического двутаврового стержня;

макрос ввода пространственной трещины в железобетонный массив.

Для оперативного учета дефекта в расчетной модели сооружения необходимо ввести номер конечного элемента и параметры дефекта в контекстное меню соответствующего макроса, в результате чего автоматически создается объем с трещиной с учетом начальных геометрических и физических параметров стержня. Далее программа разбивает объем на специальные конечные элементы и обрабатывает сетку элементов вблизи вершины трещины для возможности оценки коэффициента интенсивности напряжений и J-интеграла (рис. 4).

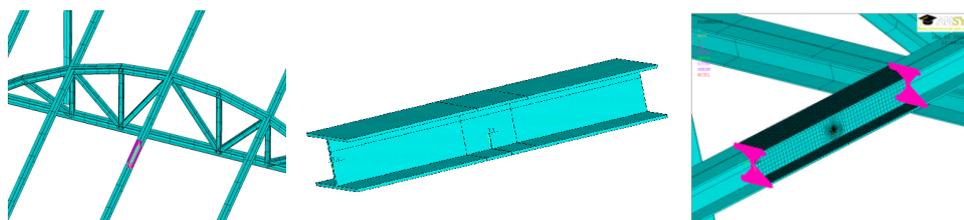


Рис. 4. Стадии работы управляющего макроса учета трещины в двутавровом металлическом элементе

В результате работы управляющего макроса оценка напряженно-деформированного состояния расчетной модели сооружения с элементом, содержащим трещину, осуществляется с учетом степени опасности данного дефекта для эксплуатационной безопасности объекта на основании анализа таких параметров, как коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины, значение J-интеграла и т. д.

В ходе работы макроса учета трещины в железобетонном элементе необходимо указать три узла в плоскости оболочки, которые определяют габариты расположения дефекта, и ввести параметры пространственного дефекта в контекстное меню. Макрос автоматически создает объем с трещиной в указанном элементе, разбивает его на конечные элементы, производит связку узлов объемных элементов с узлами оболочечных элементов и пересчитывает расчетную модель (рис. 5).

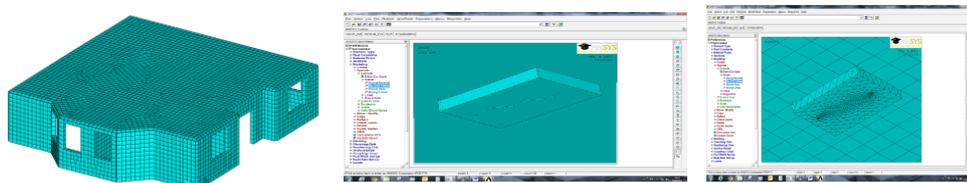


Рис. 5. Стадии работы управляющего макроса учета трещины в перекрытии монолитного здания

В результате управляющий макрос позволяет оперативно оценить влияние дефекта на НДС поврежденной конструкции и всего сооружения в целом, а также дает базу для дальнейшего моделирования арматуры.

*Оценка адекватности расчетной модели объекта мониторинга.* В качестве критериев адекватности расчетной модели в разработанной методике используются данные инструментальных измерений, получаемые в ходе мониторинга и сопоставляемые с результатами конечно-элементного расчета:

значения собственных частот колебаний конструкций;

пространственная геометрия сооружения;

величины пространственных перемещений контролируемых узлов при учете изменяющихся во времени температурных, снеговых и ветровых воздействий.

Рассмотренная выше методика коррекции расчетных моделей объектов мониторинга дает возможность принимать обоснованные решения о продолжении нормальной эксплуатации или принятии мер по устранению повреждений, что в целом качественно повышает безопасность и надежность сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коргин А. В., Ермаков В. А. Автоматизированная актуализация МКЭ-модели сооружения в ходе мониторинга // Механизация строительства. 2011. № 7. С. 16—17.

2. Ермаков В. А. Усовершенствование методики мониторинга пространственных деформаций стержневых конструкций сооружений с помощью лазерного сканирования // Вестник МГСУ. 2011. Вып. № 12. С. 206—211.

3. Захарченко М. А., Коргин А. В., Ермаков В. А. Мониторинг технического состояния ответственных сооружений с использованием современных геодезических методов измерений и численного анализа методом конечных элементов // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 3. С. 58—63.

4. Баско Е. М., Афонин А. С. О критериях оценки сопротивления хрупкому разрушению элементов стальных конструкций с учетом трещиноподобных дефектов // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 9. С. 41—43.

1. Korgin A. V., Ermakov V. A. Avtomatizirovannaya aktualizatsiya MKE-modeli sooruzheniya v khode monitoringa // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2011. № 7. S. 16—17.

2. Ermakov V. A. Usovershenstvovanie metodiki monitoringa prostranstvennykh deformatsiy sterzhnevyykh konstruktсий sooruzheniy s pomoshch'yu lazernogo skanirovaniya // Vestnik MGSU. 2011. Vyp. № 12. S. 206—211.

3. Zakharchenko M. A., Korgin A. V., Ermakov V. A. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya otvetstvennykh sooruzheniy s ispol'zovaniem sovremennykh geodezicheskikh metodov izmereniy i chislennoogo analiza metodom konechnykh elementov // Monitoring. Nauka i bezopasnost'. 2011. № 3. S. 58—63.

4. Basko E. M., Afonin A. S. O kriteriyakh otsenki soprotivleniya khрупkomu razrusheniyu elementov stal'nykh konstruktсий s uchetom treshchinopodobnykh defektov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2010. № 9. S. 41—43.

© Коргин А. В., Ермаков В. А., 2012

Поступила в редакцию  
в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Коргин А. В., Ермаков В. А. Автоматизация формирования и коррекции расчетных моделей при мониторинге технического состояния зданий и сооружений // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 3(23).