

Применение высокопроизводительных вычислительных систем для моделирования ударного воздействия на плиту перекрытия



26 Применение высокопроизводительных вычислительных систем для моделирования ударного воздействия на плиту перекрытия

Специалисты компании «Т-Сервисы» смоделировали на суперкомпьютере процесс падения многотонного блока на перекрытие подземного этажа строящегося здания. Расчеты позволили без дополнительных существенных временных и финансовых затрат определить пригодность объекта к дальнейшей эксплуатации.

АВТОРЫ:

А.А. Богач — ведущий инженер-расчетчик, канд. физ.-мат. наук, ЗАО «Т-Сервисы», холдинг «Т-Платформы», *e-mail: andrey.bogach@t-services.ru*

А.Е. Ефимов — руководитель отдела структурного анализа, ЗАО «Т-Сервисы», холдинг «Т-Платформы», *e-mail: andey.efimov@t-services.ru*

Компания «Т-Сервисы», входящая в состав холдинга «Т-Платформы», занимается внедрением высокопроизводительных вычислений на современных суперкомпьютерах для решения прикладных задач в различных отраслях промышленности.

Использование высокопроизводительных компьютерных технологий выводит на качественно новый уровень возможности численного моделирования термомеханических процессов.

Для высоконелинейных задач механики с изменяемой геометрией и свойствами материалов требования к производительности вычислений возрастают в сотни раз. Для быстротекущих процессов, таких, как моделирование столкновения автомобилей, внештатных ситуаций в промышленности и на транспорте, задач оборонного направления, где приходится отслеживать продвижение фронта волн напряжений, приходится решать системы уравнений больших размерностей тысячи раз. Матричная структура этих уравнений, близкая к диагональной, позволяет эффективно использовать распараллеленные вычисления на многоядерных процессорах и существенно сокращать время расчетов.

Использование суперкомпьютеров предоставляет возможность эффективного численного моделирования таких процессов, как:

- обработка металлов давлением;
- сейсмические воздействия;
- воздействия взрывных волн на конструкцию;
- взаимодействия жидкости с элементами конструкции;
- пробивание;
- анализ повреждений;
- развитие трещин.

Для многих задач статической и динамической прочности увеличение точности расчетов возможно лишь с учетом всех особенностей геометрии конструкции, то есть при полном моделировании механических систем, как они есть. Идеальной представляется возможность создания расчетных моделей, учитывающих особенности работы конструкции и всех концентраторов напряжений. При этом исчезает необходимость использования суперэлементов, упрощений, балочно-оболочечной идеализации и доработок, требующих больших затрат времени высококвалифицированных специалистов. Но эти аспекты приводят к увеличению размерности задач и необходимости использования все более мощных вычислительных систем.

Примером использования высокопроизводительных вычислений может служить расчет остаточной несущей способности участка перекрытия подземного этажа здания после падения на него бетонного блока, выполненный сотрудниками компании «Т-Сервисы».

На перекрытие подземного этажа строящегося здания при монтаже подъемного крана с большой высоты упал многотонный блок противовесов. Свободному падению блока препятствовал трос лебедки и определить скорость падения не представлялось возможным. Блок проделал воронку на поверхности грунта и вызвал образование трещин в перекрытии подземного этажа. Для дальнейшей эксплуатации здания требовалась оценка остаточной несущей способности поврежденного участка перекрытия без вскрытия грунта. Дать эту оценку было необходимо в предельно сжатые сроки.

Перед специалистами компании «Т-Сервисы» встала задача смоделировать процесс удара блока по перекрытию, засыпанному грунтом, и по результатам численного моделирования дать оценку остаточной несущей способности поврежденного участка.

Расчеты проводились методом конечных элементов на суперкомпьютере, построенном компанией «Т-Платформы» на базе blade-серверов собственной разработки. Вычислительная система построена на базе процессоров 2×Intel(R) Xeon(R) CPU E5410 @ 2.33 GHz и состоит из 10 двухпроцессорных лезвий, объединенных в единую систему посредством коммуникационной среды InfiniBand DDR.

Расчетная трехмерная конечноэлементная модель участка перекрытия с имеющимися слоями, арматурой и грузом показана на рис. 1.

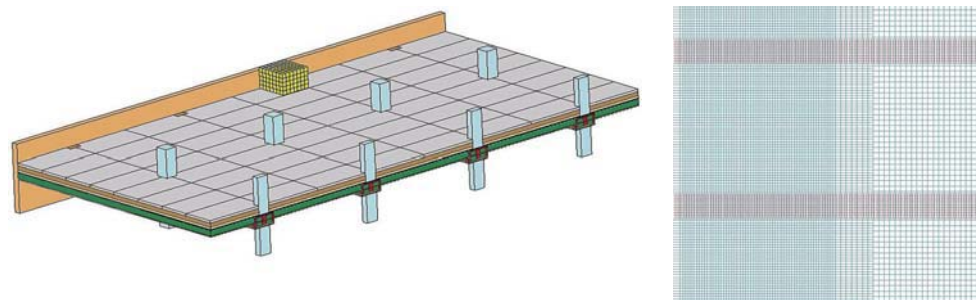


Рис. 1.
Модель перекрытия и схема армирования

Расчет выполнялся с учетом нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в бетоне, арматурной стали, песке, технопласте и утеплителе. Для несущих конструкций была использована трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона. После исчерпания пластичности бетон сжатой зоны считался раздробленным с практически нулевым сопротивлением сдвигу и первоначальным сопротивлением всестороннему сжатию. Состояние растянутого бетона описывалось

линейной зависимостью до момента достижения предельного нормативного растягивающего напряжения, после чего растягивающие напряжения в элементе обнулялись и элемент считался разрушенным. Диаграмма состояния арматурной стали описывалась билинейным законом упрочнения.

Расчет проводился в три этапа. На первом этапе рассчитывалось начальное напряженно-деформированное состояние участка перекрытия под действием собственного веса несущих конструкций и слоев эксплуатационного покрытия.

На втором этапе решалась контактная задача падения груза с начальной скоростью на перекрытие в эпицентр, выявленный в результате проведенного обследования. В условиях отсутствия данных о начальной скорости груза можно методом подбора в численном эксперименте извлечь недостающую информацию, пользуясь известными по результатам обследования размерами и формой областей разрушения бетона перекрытия, дорожных плит, ненесущих перегородок, доступных для обследования. В результате проведения серии тестовых расчетов было получено, что расчетные и измеренные размеры области разрушения бетона перекрытия согласуются при скорости падения блока, равной 2 м/с.

На третьем этапе участок перекрытия в эпицентре падения груза нагружался квазистатически равномерно распределенным по площади давлением. Давление линейно нарастало во времени до момента продавливания перекрытия. В результате проведенных расчетов было получено, что размер области разрушения, полученной при решении динамической контактной задачи с падающим грузом рис. 2, согласуется с размером области разрушения рис. 3, полученной при решении квазистатической задачи в случае, когда усилие квазистатического нагружения сравнимо с максимальным контактным усилием. Величина этого усилия по результатам обоих расчетов составила 600—800 тс.

Некоторое несоответствие по форме областей разрушения объясняется влиянием динамики нагружения в случае решения контактной задачи. Что касается напряженно-деформированного состояния арматуры, то оба подхода, динамический и квазистатический, дали одинаковый результат. В результате решения контактной динамической задачи о падении груза с начальной скоростью 2 м/с и решения задачи о квазистатическом нагружении перекрытия получено, что осевые напряжения в верхней рабочей арматуре балок и перекрытия составили 200 МПа и 100 МПа соответственно, что не превышает предела текучести арматурной стали.

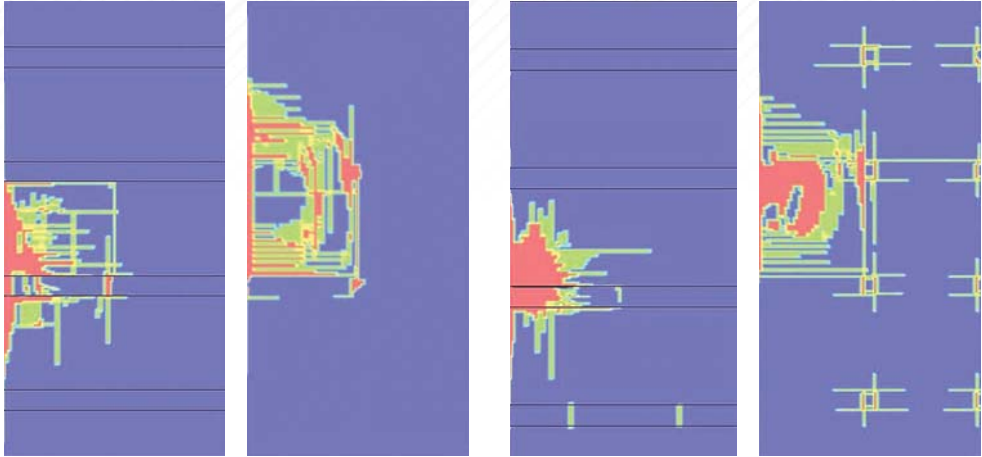


Рис. 2.
Расчетное поле поврежденности бетона (динамика). Виды снизу и сверху

Рис. 3.
Расчетное поле поврежденности бетона (квазистатика). Виды снизу и сверху

Напряжения в верхней зоне бетона локально превысили напряжения, предельные по растяжению, что говорит об образовании трещин в зоне, которая в нормальных условиях находится в сжатом состоянии. Зная осевые расчетные напряжения в верхней рабочей арматуре, можно рассчитать ширину раскрытия трещин в верхнем (недоступном для обследования) армированном слое бетона. Расчетная ширина раскрытия трещин в верхней армированной зоне под действием кратковременной нагрузки от упавшего груза не превышает допустимых пределов и остаточная несущая способность перекрытия является достаточной для дальнейшей эксплуатации здания.

Данный расчет показывает, что использование высокопроизводительных суперкомпьютеров делает возможным решение задач по численному моделированию таких процессов, исследование которых другими методами невозможно или требует расходования значительно больших средств и времени.