

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАСЧЕТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ STARK ES И ЛИРА

А.С. Городецкий, *д.т.н.*, академик РААСН, *НИИАСС*, г. Киев, Украина
Ю.П. Назаров, *д.т.н.*, *ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко*, г. Москва, Россия
Ю.Н. Жук, *к.т.н.*, В.Н. Симбиркин, *к.т.н.*, *ЕВРОСОФТ*, г. Москва, Россия

Введение

1. В настоящее время федеральные и региональные органы экспертизы уделяют **повышенное внимание качеству расчётных обоснований** проектных решений строительных конструкций. Актуальность данной проблемы определяется следующими факторами:

- **усложнением проектных решений** в связи с переходом от типового к индивидуальному проектированию зданий и сооружений разнообразной архитектурной формы, повышенной этажности, возводимых по новым технологиям строительства;
- возрастанием **риска необоснованного снижения запасов** прочности конструкций из-за спешки в проектировании, дефицита кадров опытных конструкторов и давления со стороны инвестора на проектировщиков с целью уменьшения себестоимости объектов строительства;
- переходным периодом в разработке и применении строительных норм и правил, связанным с принятием в 2003 г. федерального **Закона «О техническом регулировании»** и изданием новых нормативно-методических документов по строительным конструкциям, имеющих рекомендательный статус;

Происшедшие в 2004 г. аварии на стадии строительства и эксплуатации объектов дополнительно обострили внимание к проблеме прочности и надежности конструкций.

2. В большинстве случаев расчеты строительных конструкций выполняют с помощью специальных программных комплексов (ПК), являющихся важнейшим звеном технологии автоматизированного проектирования.

Специалистам хорошо известно, что результаты расчёта с применением ПК не являются однозначными. Применяя один и тот же ПК, различные проектировщики могут получить различные результаты, т.к. в этих ПК заложены разнообразные средства перехода от реальной конструкции к её математической модели. В то же время, один и тот же проектировщик получит различные результаты расчёта, применяя различные ПК, так как в ПК реализованы **приближенные численные методы** – метод конечных элементов, методы решения физически и геометрически нелинейных задач, задач динамики и др.

В мировой и отечественной практике нередко используют сравнение результатов расчета на прочность, устойчивость и колебаний одного и того же объекта по независимо разработанным и проверенным практикой ПК.

Однако применение этой технологии требует:

- **наличия не менее двух ПК** и умение квалифицированно использовать оба ПК;
- **повторного описания** расчётной модели для второго ПК;
- **правильной интерпретации** расхождений результатов расчета, которые могут возникнуть, в том числе, из-за субъективных ошибок при задании исходных данных.

В 2004 г. два ведущих производителя и поставщика для стран СНГ ПК МКЭ (ЛИРА и STARK ES) реализовали комплекс мероприятий по повышению качества расчётных обоснований проектных решений строительных конструкций с применением двух независимо разработанных ПК.

Широко известные **ПК серии ЛИРА** являлись фактическим стандартом ПК МКЭ для массового применения в строительстве в СССР. С появлением персональных ЭВМ массовое применение в строительном проектировании получили также **ПК серии STARK**.

ФГУП центр программных средств Госстроя России начал в 1995 году деятельность по добровольной сертификации указанных серий ПК, это в дальнейшем стало общепринятой практикой для поставщиков средств автоматизированного проектирования.

В 2004 г. проектировщикам были предложены:

Опубликовано: А.С. Городецкий, Ю.П. Назаров, Ю.Н. Жук, В.Н. Симбиркин. Повышение качества расчетов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА// Информационный вестник Мособлгосэкспертизы. – 2005. – № 1(8). – С. 42-49.

- программные средства (**конверторы**) для передачи расчётных моделей из ПК ЛИРА в ПК STARK ES и обратно, обеспечивающие максимально возможную полноту передачи данных о геометрии, нагрузках и материалах конструкций и выдающих информацию о данных, которые не могут быть переданы из-за принципиальных различий в независимо разработанных ПК ЛИРА и STARK ES;
- консультационно-методическая помощь пользователям двух указанных ПК при сравнении результатов расчетов по двум ПК;
- льготные условия поставки недостающего ПК официальному пользователю ПК ЛИРА или ПК STARK ES.

С целью внедрения данной технологии в сентябре, декабре 2004 года и в феврале 2005 года ЦНИИСК им. Кучеренко В.А., НИИАСС Госстроя Украины, Еврософт и Лирасофт провели специализированные семинары, вызвавшие большой интерес проектировщиков. Более 95% участников семинаров указали на актуальность и полезность данного начинания.

Первые опыты применения предложенной технологии свидетельствуют о:

- **повышении уверенности** проектировщиков в расчётных обоснованиях конструктивных решений;
- **удобстве дополнения** к реализованным в одном из двух ПК функциям диагностики и расчёта функциями другого ПК.

В данной статье содержится краткая информация о ПК STARK ES и ЛИРА, а также общие сведения о технологии работы с двумя указанными ПК.

Последующие публикации на данную тему будут отражать опыт работ проектных организаций Москвы и Московской области с применением совместно ПК ЛИРА и ПК STARK ES.

Следует подчеркнуть, что, по мнению авторов, предложенная технология никоим образом не противоречит необходимости развития практики сертификации и верификации программных средств и не ограничивает применение иных программных средств в проектной практике.

1. Программный комплекс ЛИРА

ПК ЛИРА предназначен для проектирования таких строительных объектов, как сборные (каркасные и панельные) монолитные железобетонные конструкции, покрытия и перекрытия больших пролетов, мембраны, подпорные стены, комбинированные системы (рамно-связевые конструкции высотных зданий, плиты на упругом основании, ребристые и многослойные конструкции), отдельные элементы (колонны, балки, фермы, плиты); при создании сооружений специального назначения – для разработки конструкций башен и мачт, магистральных трубопроводов, котлов, конструкций атомной промышленности, гидротехнических сооружений; в мостостроении – для разработки коробчатых конструкций больших пролетов, пилонов и вантовых систем висячих мостов, мостовых опор, тоннелей; при разработке проектов конструкций турбин, башенных и порталных кранов, транспортных, дорожно-строительных, горнодобывающих машин и механизмов; при осуществлении научных исследований в области строительной механики.

Расчет выполняется на сосредоточенные и распределенные статические нагрузки, температурные воздействия, заданные перемещения, на динамические нагрузки – пульсирующие ветровые, ударные, импульсные, вибрационные, сейсмические, в том числе по акселерограммам.

В результате расчета определяется напряженно-деформированное состояние конструкции, наличие трещин и пластических шарниров, форма потери устойчивости сооружения, эквивалентные напряжения по различным теориям прочности, геометрические характеристики сечения, нагрузки на фундамент, площадь сечения арматуры по прочности и трещиностойкости железобетонных сечений; выполняется конструирование железобетонных элементов, проверка сечения элементов стальных конструкций и подбор профиля из сортамента металлопроката.

Используемая при этом интуитивная графическая среда пользователя (ЛИР-ВИЗОР) обеспечивает единые принципы работы с расчетной схемой на этапах ее создания и анализа результатов расчета (рис. 1).

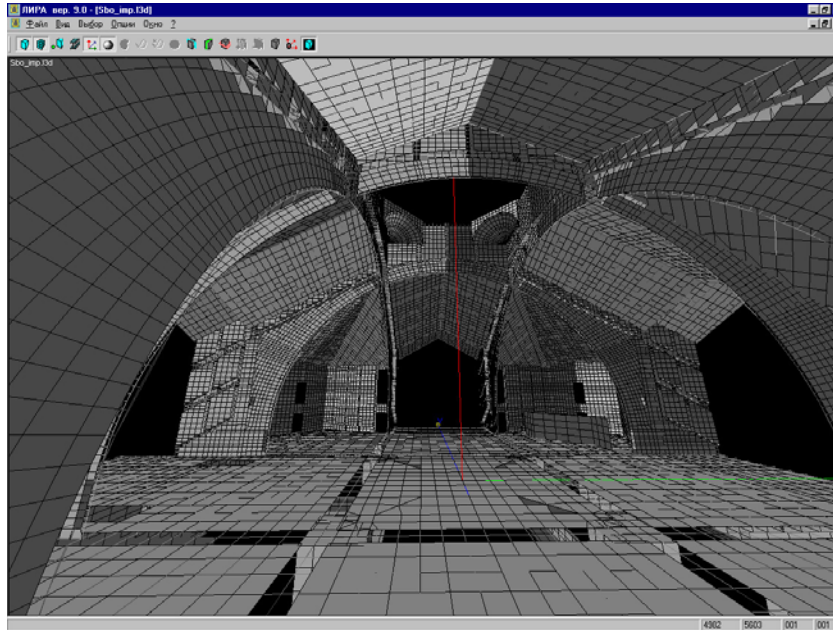


Рис. 1. Графическая среда ПК ЛИРА

Линейный процессор включает: специальную систему контроля и диагностики данных; библиотеку конечных элементов – стержневые элементы, прямоугольный, треугольный, четырехугольный элементы плиты, балки-стенки, оболочки с учетом упругого основания, объемные элементы в виде тетраэдра, параллелепипеда, призмы, произвольный восьмиузловой элемент, специальные элементы, учитывающие односторонние и двусторонние связи конечной жесткости. Этот процессор выполняет: минимизацию профиля матрицы при решении системы линейных уравнений; определение перемещений узлов и усилий в элементах; определение расчетных сочетаний усилий; формирование расчетных сочетаний нагрузок; определение нагрузок на фундамент. Процессор предоставляет возможность задания нагрузок, перемещений и связей в любом направлении благодаря использованию произвольных ортогональных систем координат для элементов и узлов.

Единая графическая среда ЛИР-ВИЗОР позволяет формировать и анализировать результаты расчета суперэлементной расчетной схемы.

Применение суперэлементов позволяет: сократить время подготовки исходных данных и анализа результатов; снять ограничения на размерность решаемой задачи: количество узлов, элементов, нагрузок, загрузений, типов жесткости; повысить скорость и точность решения задачи. Объединение преимуществ суперэлементной расчетной схемы с возможностями процессора, спроектированного для 32-разрядных операционных систем, существенно сокращает время решаемой задачи. Время решения больших задач сокращается в десять раз.

Нелинейный процессор реализует шаговые методы и позволяет рассчитывать конструкции с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейности. При расчете железобетонных конструкций учитываются: момент появления трещин, пластических деформаций в арматуре и в сжатом бетоне, перераспределение усилий, нарастание деформаций, в том числе на основе нормируемых зависимостей «напряжение-деформация». При расчете геометрически нелинейных систем (вантовых ферм и покрытий, высотных мачт с оттяжками, вантовых мостов, тентовых покрытий) учитывается влияние предварительного натяжения и изменения геометрической формы конструкции. При решении контактных задач учитывается работа односторонних связей.

Функции единой графической среды ЛИР-ВИЗОР помогают пользователю быстро проанализировать результаты расчета. Предоставляемые возможности: отображение деформированной расчетной схемы по отдельным загрузениям и формам собственных колебаний; построение эпюр внутренних усилий для стержневых систем; построение изополей усилий, изополей осевых, главных, эквивалентных напряжений для плоскостных систем и поверхностей массивных конструкций по отдельным загрузениям и расчетным сочетаниям нагрузок; изменение масштаба изображения, точки и угла зрения; использование цветовых и цифровых обозначений.

Предлагаемая система позволяет: сформировать сечение произвольной формы, в том числе при кручении и сдвиге, определить положение главных центральных осей инерции сечения; включить данное сечение в библиотеку сечений для использования при назначении жесткостей элементов; получить изополя нормальных, касательных, главных и эквивалентных напряжений для отдельных загружений, расчетных сочетаний нагрузок и усилий.

В свою очередь конструирующая система ЛИР-СТК дает возможность: объединить элементы расчетной схемы в конструктивный элемент, выполнить унификацию конструктивных элементов, подобрать сечения элементов металлических ферм, балок, колонн; проверить заданные сечения и определить коэффициенты использования сечений; выполнить вариантное проектирование конструктивных элементов, меняя сечения полок и стенок, схему ребер, материал; расширить сортамент сечений.

Конструирующая система ЛИР-АРМ (реализует СНиП 2.03.01.-84*, СНиП 52-01-2003 и Еврокод) обуславливает высокоэффективные проектно-расчетные результаты в сфере расчета и конструирования железобетонных элементов. Применение ее открывает следующие возможности: объединить элементы расчетной схемы в конструктивный элемент, выполнить унификацию конструктивных элементов; подобрать площадь сечения арматуры железобетонных элементов балок, колонн, плит, оболочек; выполнить увязку продольного и поперечного армирования по длине конструктивного элемента; сформировать чертежи балок и колонн (рис. 2), создать файл DXF для работы в графических системах, поддерживающих данный формат.

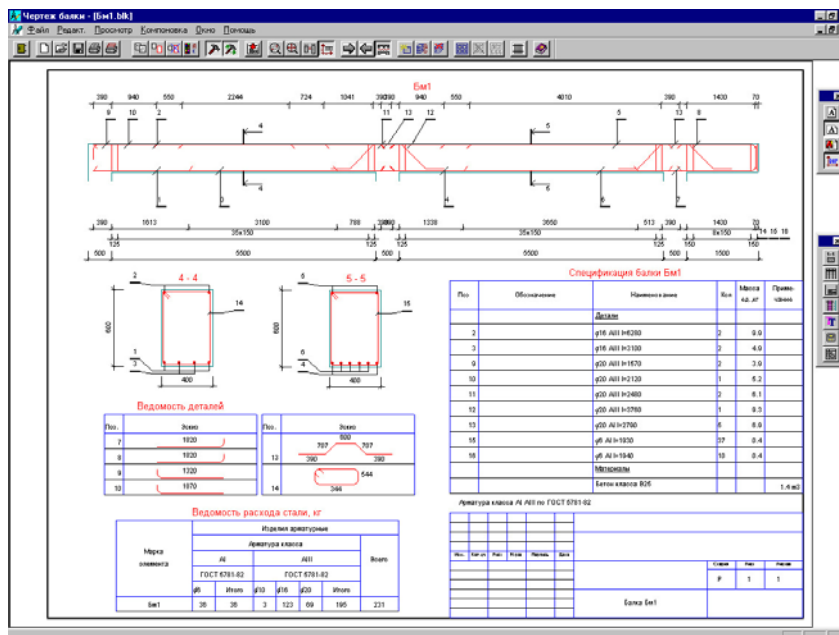


Рис. 2. Эскизы чертежей железобетонных конструкций, созданные в системе ЛИР-АРМ

Система документатора позволяет: оформить типовую пояснительную записку; сформировать таблицы исходных данных и результатов расчета в требуемой форме, назначив графы и строки для вывода; зафиксировать текущее изображение (расчетные схемы и фрагменты схем, схемы деформирования, формы колебаний и потерь устойчивости, схемы с изображением изополей и изолиний расчетных величин, эпюры усилий) для оформления документов; отредактировать графическую и текстовую информацию; скомпоновать на листе документа графическую и текстовую информацию, добавить текст примечаний, оформить основную надпись, получить твердые копии документов на любом печатающем устройстве, поддерживаемом Windows.

Поставляемая с 2004 года коммерческая версия ЛИРА 9.2 имеет много новшеств, основные из которых:

- модернизированный процессор, сокращающий время проведения расчета в 8-10 раз;
- специализированный процессор МОСТ позволяет получить поверхности влияния и рассчитывать коробчатое сечение пролетного строения, усиленное ребрами;

- специализированный процессор МОНТАЖ+ позволяет моделировать процесс возведения высотных зданий с учетом изменения в процессе монтажа физико-механических свойств бетона, обусловленных неполным набором прочности или временным замерзанием;
- технология компьютерного моделирования приспособляемости конструкций высотных зданий (на основе совместного использования физически и геометрически нелинейных процессоров), препятствующей прогрессирующему разрушению.

2. Программный комплекс STARK ES

ПК STARK ES предназначен для выполнения расчетов на основе метода конечных элементов линейных и нелинейных задач статики, динамики и устойчивости разнообразных строительных объектов. Охарактеризуем возможности данного ПК на разных этапах выполнения расчета, уделив особое внимание его особенностям и дополнительным возможностям.

➤ Этап создания расчетных схем

Создание расчетной модели объекта основано на технологии работы с позициями и начинается с ввода его конструктивной схемы (макромодели). Это осуществляется графически в интерактивном режиме при помощи естественных для инженера элементов-позиций: колонн, стен, плит, балок и т.п. При этом могут использоваться проекты, созданные в архитектурных и графических программах (AutoCAD, ArCon, speedikon A, ArchiCAD и др.). Далее из созданной макромодели сооружения автоматически генерируется его конечно-элементная расчетная модель, выполняется оценка качества и оптимизация конечно-элементной сетки с целью получения наиболее точного результата расчета. По желанию пользователя, при генерации конечно-элементной модели программа автоматически вводит в расчетную модель определенные условия, позволяющие учесть реальные размеры конструкций в узлах их сопряжений. В частности, это дает возможность снизить эффект сингулярности и избежать неестественных пиков усилий в узлах сопряжения колонн с железобетонными перекрытиями и получения в дальнейшем завышенных площадей сечения надпорной продольной и поперечной арматуры плит, а также избежать учета «двойной» жесткости в местах примыкания колонн к несущим стенам.

Графический препроцессор ПК STARK ES также дает возможность создавать расчетные схемы, используя параметрические прототипы конструкций типа рам и ферм, формировать схемы в виде поверхностей вращения различного вида и поверхностей, заданных аналитически, а также непосредственно преобразовывать пространственное изображение из файла формата DXF системы AutoCAD в конечно-элементную модель.

Для удобства работы с большими системами пользователю предоставлена возможность видеть на экране не всю систему, а только выбранную им ее часть (фрагмент), для задания которой имеется большой набор всевозможных фильтров.

➤ Общий расчет

Общий расчет системы в среде STARK ES (рис. 3) включает статический расчет, расчет на устойчивость и свободные колебания. Все виды расчетов могут быть выполнены с учетом геометрической нелинейности и конструктивной нелинейности, обусловленной односторонней работой элементов, связей, шарниров и упругого основания. Расчет производится методом конечных элементов с применением стержневых, а также современных плоских и объемных элементов, построенных на основе смешанного метода или метода перемещений и позволяющих получить достаточно точное решение даже на грубых конечно-элементных сетках. Плоскостные конечные элементы реализуют как теорию изгиба тонких плит Кирхгофа-Лява, так и теорию Миндлина-Рейснера, что расширяет область применения таких элементов для решения задач изгиба

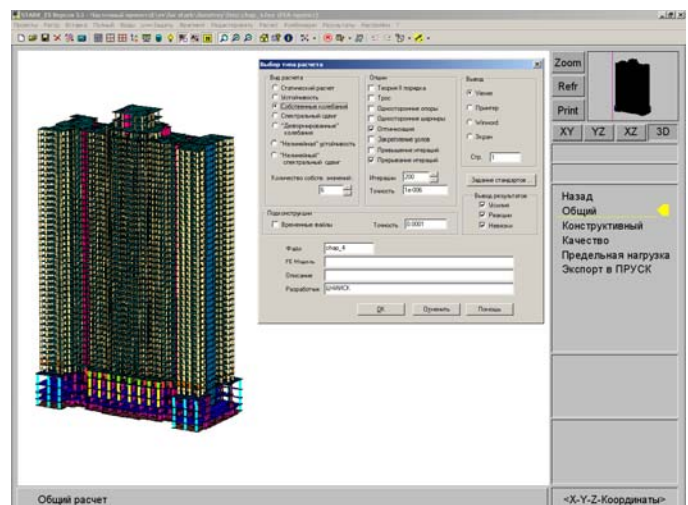


Рис. 3. Общий расчет в ПК STARK ES

относительно толстых плит, а также плит, опирающихся на жесткий контур и лежащих на упругом основании. Кроме того, в случае пространственной задачи эти элементы имеют в каждом узле все шесть степеней свободы, что обеспечивает практически неограниченные возможности моделирования конструкций путем сопряжения конечных элементов различных типов.

В состав поставки ПК STARK ES входит модуль **Profilmaker**, который предназначен для формирования произвольных составных сечений из стальных прокатных профилей и листов, а также расчета их геометрических характеристик с передачей данных в конечно-элементную модель, для анализа распределения напряжений в сечении и его несущей способности в упругом состоянии и в состоянии пластического шарнира, для подбора профиля, удовлетворяющего заданным пользователем требованиям. Расчеты проводятся численными методами теории упругости и пластичности, поэтому программа может рассчитывать как тонкостенные сечения, так и сечения общего вида – односвязные и многосвязные, открытого и закрытого профилей.

Расчет зданий и сооружений в среде STARK ES может быть выполнен с учетом их совместной работы с деформируемым грунтовым основанием, для чего предусмотрена возможность моделирования массива грунта объемными телами, а также одно- либо двухпараметрическим упругим основанием.

При решении задач динамики ПК STARK ES использует недиагональную матрицу распределенных масс. В результате достигается высокая точность решения задач расчета конструкций на динамические воздействия при приемлемой для практики дискретизации системы на конечные элементы.

➤ Конструктивные расчеты

С помощью программного комплекса STARK ES можно выполнить основные конструктивные расчеты строительных конструкций в соответствии с действующими нормами проектирования. К таким расчетам относятся:

- ✓ Расчет на динамическое воздействие ветра. Программа автоматически определяет пульсационные составляющие ветровой нагрузки и приводит их к квазистатическим нагрузкам по методике СНиП 2.01.07-85*. Кроме того, имеется возможность выполнить более точный расчет, лишенный ряда ограничений по сравнению с методикой СНиП, в соответствии с «Рекомендациями по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки» (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2000 г.).
- ✓ Расчет на сейсмические воздействия. Так же как и в случае расчета на пульсацию ветра, в ПК STARK ES реализовано несколько методик расчета на сейсмические воздействия. Во-первых, есть возможность выполнять расчет во временной области по заданной акселерограмме сейсмического движения грунта. Во-вторых, имеется ряд методик, реализующих расчет в частотной области на основе линейно-спектрального метода, в том числе с использованием подходов, принятых в российских СНиП II-7-81* и узбекских КМК 2.01.03-96 нормах. Помимо этого, в ПК STARK ES реализованы методики, которые были разработаны в последние годы в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, которые учитывают как пространственную работу сооружения, так и пространственный характер сейсмического воздействия. При этом предусмотрено задание произвольного расчетного направления сейсмического воздействия в пространстве, а также произвольной интенсивности воздействия и произвольного спектра коэффициента динамичности, исходя из конкретной сейсмологической ситуации района строительства. В этом случае может быть принята интегральная модель сейсмического воздействия, когда массив грунтового основания рассматривается как единое целое, а также дифференциальная модель сейсмического воздействия, которая определяет неравномерное в плане поле ускорений движения массива грунта по опорным точкам. Дифференциальную модель используют, в частности, при анализе сооружений, размеры которых в плане сравнительно велики и сопоставимы с длиной сейсмической волны. Таким образом, с помощью ПК STARK ES можно выполнять расчеты объектов любых архитектурных и конструктивных решений для обоснования возможности их строительства в сейсмических районах.
- ✓ Определение опасного направления динамического воздействия. Этот расчет позволяет выделить из бесконечно большого числа всевозможных направлений ветрового и поступательного или вращательного сейсмического воздействия то направление, которое будет наиболее опасным и для системы в целом, и для

любого отдельно взятого ее элемента. В результате будет рассмотрен наиболее неблагоприятный случай воздействия, что обеспечит высокую надежность проектируемого объекта. Такая оптимизационная задача решается как для каждой формы собственных колебаний, так и для нескольких учитываемых форм с оценкой вклада каждой формы (факторов участия) в суммарную динамическую реакцию сооружения.

- ✓ Определение расчетных сочетаний усилий и нагрузок на фундаменты.
 - ✓ Расчет железобетонных стержней и плит (рис. 4) по двум группам предельных состояний.

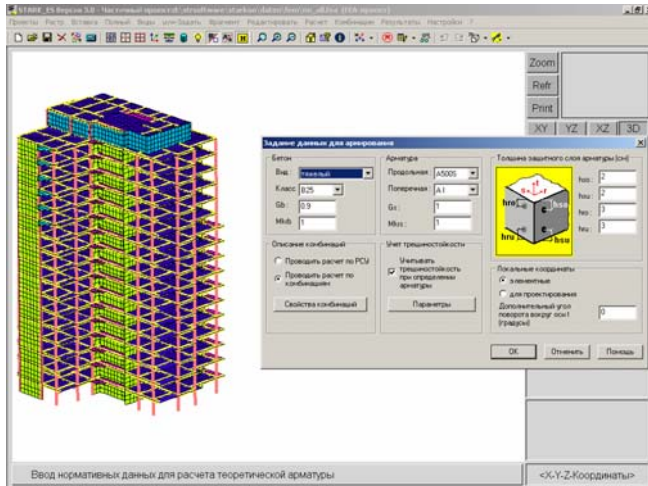


Рис. 4. Конструктивные расчеты в ПК STARK ES

Выполняется проверка прочности/устойчивости или определение требуемого количества продольной и поперечной арматуры в сечениях железобетонных элементов, в т.ч. с учетом требований норм по трещиностойкости и ограничению ширины раскрытия трещин, определяется ширина раскрытия нормальных и наклонных трещин, а также прогибы сплошных плит в рамках физически нелинейного расчета. Примечательна здесь возможность выполнения расчетов ребер жесткости, подкрепляющих железобетонные плиты перекрытий, совместно с примыкающими к ним участками плиты, с автоматическим определением усилий и площади сечения арматуры для полного расчетного сечения тавровой формы.

- ✓ Расчет элементов стальных конструкций и сварных швов в соответствии со СНиП II-23-81*. Выполняется проверка прочности и общей устойчивости в двух плоскостях прокатных и составных балок, прокатных, сквозных и сварных колонн, а также прокатных элементов комбинированных стержневых систем и ферм. В случае составного сечения, кроме того, выполняется проверка местной устойчивости поясов и стенки, а также определение требуемых катетов сварных швов. Результаты поверочных расчетов представляются в табличной форме с выводом наиболее опасных расчетных сочетаний усилий и значений напряжений, определенных по соответствующим формулам СНиП.

➤ Вывод и анализ результатов расчета

Просмотр и вывод результатов расчета возможен в табличной форме и графически. Предусмотрен экспорт результатов расчета в файлы формата DOC, DXF, HPGL. Как и на этапе создания и редактирования расчетной схемы, возможна работа с выделенным фрагментом системы, что существенно облегчает визуализацию и обработку результатов расчета больших задач. Графическая среда ПК STARK ES предоставляет следующие возможности вывода: отображение деформированной схемы по отдельным нагружениям, комбинациям нагружений и собственным формам, в т.ч. в режиме анимации, построение эпюр усилий, перемещений и расчетных площадей сечения арматуры по длине стержней и по указанному сечению плоскостных элементов, построение изолиний и изополей перемещений, площади сечения арматуры и усилий/напряжений в плоскостных элементах, индикация экстремальных значений всех расчетных параметров внутри определенного фрагмента расчетной схемы как по отдельным нагружениям, так и по заданным комбинациям нагружений.

Кроме того, в STARK ES имеется ряд возможностей для оценки точности результатов расчета. К ним относятся:

- проверка глобального равновесия системы в целом и выполнения условий равновесия во всех ее узлах с выводом значений невязок по каждому направлению;
- спектральный анализ матрицы жесткости с определением спектра ее собственных значений и векторов, позволяющий не только оценить вычислительную погрешность решения системы уравнений МКЭ, но и установить распределение жесткостей в расчетной модели, обнаружить в ней ошибку или оценить качество принятых конструктивных решений;

Опубликовано: А.С. Городецкий, Ю.П. Назаров, Ю.Н. Жук, В.Н. Симбиркин. Повышение качества расчетов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА// Информационный вестник Мособлгосэкспертизы. – 2005. – № 1(8). – С. 42-49.

- апостериорные оценки ошибок вычисления усилий в плоских и объемных конечных элементах по различным критериям.

Подобный расширенный анализ точности результатов расчета способствует обеспечению максимально надежного проектирования конструкций.

Программный комплекс STARK ES входит в состав комплекта СТАРКОН, в который также входят ПК ПРУСК и ПК ВАРКОН. Использование этих программных продуктов в сочетании друг с другом позволяет значительно автоматизировать процесс проектирования и получить по результатам расчетов эскизы рабочих чертежей несущих строительных конструкций в среде AutoCAD.

3. Совместное использование ПК STARK ES и ПК ЛИРА

Каждый из программных комплексов, представленных в предыдущих разделах статьи, предоставляет инженеру достаточно обширные возможности для выполнения расчетов строительных объектов практически любого вида и сложности и может использоваться как самостоятельный программный продукт. Однако следует отметить, что ряд методов, составляющих расчетную базу современных программных комплексов, в том числе метод конечных элементов, являются численными, т.е. дают не точное, а некоторое приближенное решение. В программных комплексах, разработанных независимо друг от друга, применены различные модификации численных методов и алгоритмов, что, очевидно, обуславливает различие результатов расчета, получаемых с их помощью. Это различие, как правило, возрастает при недостаточно корректном использовании программного комплекса, при применении расчетных схем, не соответствующих его возможностям и особенностям. Поэтому такая ситуация может свидетельствовать о допущенных просчетах, что подтверждается анализом ряда аварийных ситуаций и отказов, возникших в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений по причине недостаточно надежных решений их несущих конструкций.

Для некоторого (и немалого) числа практических расчетных задач, встречающихся при строительном проектировании, оценка точности получаемых приближенных решений затруднена в связи с отсутствием точного, аналитического либо аналогичного, проверенного на практике, решения. В этой связи с целью предотвращения получения неверных результатов расчета и, как следствие, недостаточно надежных и экономичных конструктивных решений, экспертные органы России рекомендуют выполнять проектные расчеты сложных и уникальных объектов строительства не менее чем по двум независимо разработанным программным комплексам, проверенным в проектной практике, и проводить сопоставительный анализ полученных результатов. Во исполнение данных рекомендаций ООО «ЕВРОСОФТ» совместно с ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и ООО «ЛИРА СОФТ» совместно с НИИАСС Госстроя Украины приступили к разработке и внедрению технологии выполнения расчетов строительных объектов на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА. Некоторые этапы выполнения данной работы уже завершены. В частности, началась поставка программ-конверторов, осуществляющих передачу данных о расчетных схемах между ПК ЛИРА и ПК STARK ES. Эти программы позволяют существенно облегчить технологию выполнения расчетов по двум ПК, поскольку расчетную схему, созданную в одном ПК, можно автоматически передать в другой ПК, а не создавать ее заново. Пользователь должен, и только лишь при необходимости, задать данные, утерянные в процессе конвертирования, а также внести некоторые изменения в расчетную схему, чтобы она адекватно описывала рассчитываемую конструкцию в другом ПК, с учетом его возможностей и особенностей.

В программных комплексах STARK ES и ЛИРА, разработанных независимо, использованы различные способы построения конечных элементов и выдачи результатов в них, различные способы дискретизации (приведения к узловым) распределенных нагрузок и динамических масс, реализованы различные модели нелинейно деформируемых тел и сред, различные математические методы решения линейных и нелинейных задач, различные методики ряда конструктивных расчетов строительных конструкций. Кроме того, имеются отличия в возможностях программ, в частности, по учету совместной работы здания с деформируемым грунтовым основанием, учету стадийности возведения здания, по расчету на действие подвижных и динамических нагрузок, а также по диагностике исходных данных и анализу полученных результатов. Поэтому совместное

использование в практике проектирования двух программных комплексов STARK ES и ЛИРА позволит:

- объединить разные возможности программ, используя их при расчете одного и того же объекта;
- обратить внимание инженера, выполняющего расчет, на результаты расчета и дать ему дополнительную информацию к размышлению при анализе результатов расчета по разным ПК, что, безусловно, поможет обнаружить допущенную ошибку и будет способствовать повышению квалификации специалиста;
- на основе численных результатов оценить особенности различных методик, реализованных в ПК;
- оценить устойчивость полученных решений.

В результате можно ожидать существенного снижения риска ошибки при моделировании конструкций и ошибки расчета. В подтверждение данного тезиса приведем два примера, иллюстрирующих преимущества применения технологии выполнения расчетов на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА.

В первом случае рассчитывали железобетонную несущую систему 16-этажного здания с колоннами-пилонами (рис. 5), расчетная модель которой была создана в ПК ЛИРА. При создании расчетной модели пользователь допустил ряд ошибок, которые были обнаружены после передачи расчетной схемы в ПК STARK ES с помощью средств диагностики этого ПК. Так, расчет качества формы конечных элементов выявил несколько плоскостных элементов в форме вытянутых треугольников, для которых затем была выполнена автоматизированная процедура сглаживания (рис. 6) для получения в дальнейшем более точного результата расчета. Кроме того, спектральный анализ матрицы жесткости выявил ошибочно заданную толщину нескольких элементов, представляющих один из пилонов здания (рис. 7).

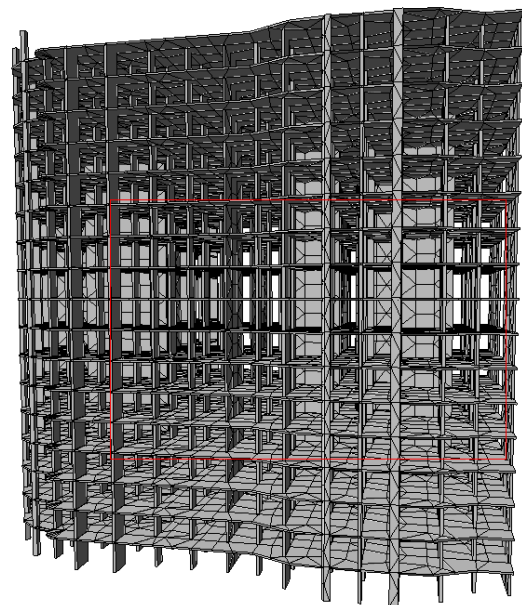


Рис. 5. Несущая система здания

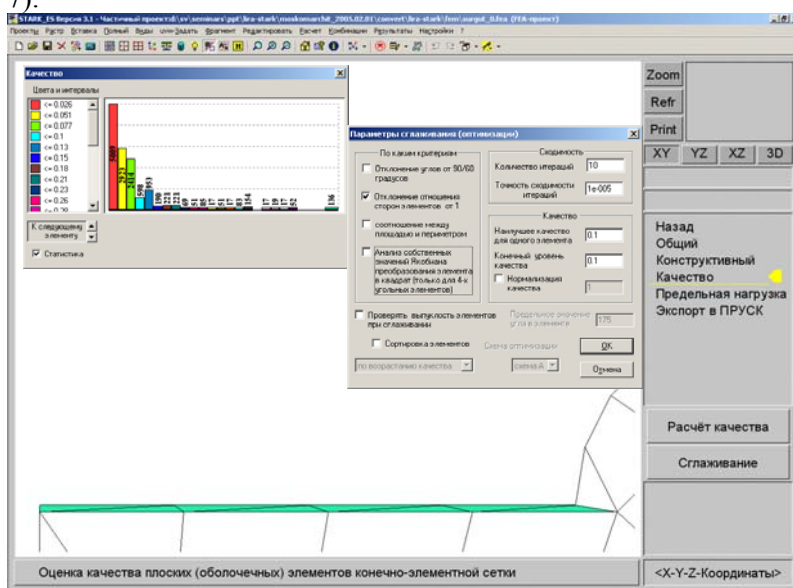


Рис. 6. Расчет качества и сглаживание КЭ-сетки

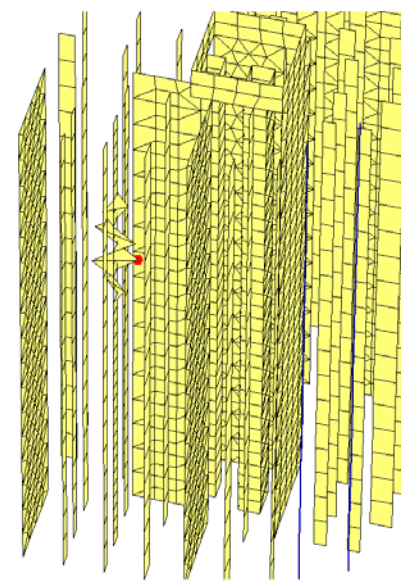


Рис. 7. Результаты спектрального анализа (форма)

Опубликовано: А.С. Городецкий, Ю.П. Назаров, Ю.Н. Жук, В.Н. Симбиркин. Повышение качества расчетов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА// Информационный вестник Мособлгосэкспертизы. – 2005. – № 1(8). – С. 42-49.

Исправление данных расчетной модели здания привело к существенному уточнению результатов расчета. В качестве примера в табл. 1 приведены значения вертикальной реакции в опоре одного из пилонов, полученные расчетом до и после корректировки расчетной схемы.

Таблица 1

| Вид нагрузки | Значение опорной реакции, кН | | Уточнение результата, % |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | до корректировки расчетной схемы | после корректировки расчетной схемы | |
| постоянная | 792 | 934 | 18 |
| временная | 393 | 494 | 26 |
| снеговая | 179 | 225 | 26 |

Во втором случае выполняли расчет при действии вертикальной и горизонтальной нагрузки монолитного железобетонного каркаса 18-этажного дома совместно с фундаментной плитой, лежащей на упругом основании. Первоначально расчет конструкций дома был выполнен с использованием ПК STARK ES (рис. 8). После передачи расчетной схемы здания в ПК ЛИРА был выполнен ее расчет с определением площади сечения арматуры колонн каркаса. При этом в ПК ЛИРА, в отличие от ПК STARK ES, имеется возможность принимать такую схему армирования прямоугольных сечений стержневых элементов, при которой, помимо определения требуемой площади сечения продольной арматуры, распределенной вдоль граней сечения, определяется и требуемая площадь сечения угловых стержней. Такая схема армирования сечений является более экономичной, поскольку арматурные стержни, размещаемые в углах сечения, эффективно работают на восприятие изгибающих моментов в обеих плоскостях. Результаты расчета требуемого количества продольной арматуры в одной из колонн нижнего яруса каркаса здания представлены в табл. 2.

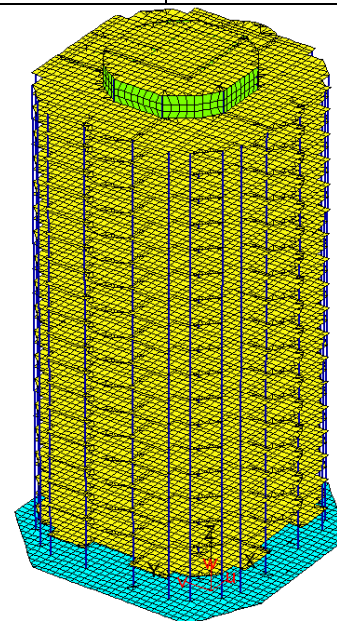


Рис. 8. Расчетная модель каркаса

Таблица 2

| Требуемая площадь сечения продольной арматуры на сечение колонны, см ² | | | Уточнение результата, % |
|---|----------------|--------------------------------|--|
| ПК STARK ES | ПК ЛИРА | | |
| | | без выделения угловых стержней | с выделением угловых стержней, $d_{max}=32$ мм |
| 49.1 (8Ø28) | 48.8 (8Ø28) | 41.8 (4Ø32+4Ø18) | 16 |

Таким образом, в данном случае применение ПК ЛИРА, в дополнение к ПК STARK ES, позволило удостовериться в точности результатов расчета и принять более экономичное конструктивное решение.

Очевидно, что представленные примеры далеко не полностью раскрывают эффективность совместного использования двух программных комплексов. Можно привести еще не один десяток реальных примеров, наглядно показывающих преимущества предлагаемой технологии, позволяющей совместно использовать те или иные возможности ПК STARK ES и ПК ЛИРА.