

➤ ПРИМЕНЕНИЕ ПК STARK ES ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

Проблема выбора адекватной расчетной схемы и методики расчета сооружения является одной из основных и наиболее сложных проблем, возникающих при расчетном анализе конструкций. В зависимости от сложности и степени ответственности проектируемого сооружения при расчетном обосновании проекта необходимо учитывать следующие основные требования, обеспечивающие конструкционную надежность и безопасность объекта:

- применение пространственных расчетных моделей конструкций и воздействий, в том числе при динамическом анализе работы сооружений;
- учет нелинейности работы конструкций;
- учет истории возведения и нагружения конструкций;
- учет совместной работы несущих конструкций, фундамента и основания;
- рассмотрение аварийных воздействий и ситуаций, защита конструкций от так называемого "прогрессирующего" разрушения;
- использование разных расчетных схем для анализа различных состояний конструкции;
- применение обоснованных и апробированных методик расчета;
- выполнение параллельных расчетов

с использованием альтернативных расчетных средств;

- учет опыта проектирования, строительства, эксплуатации и экспериментальных исследований конструкций.

Перечисленные требования обусловлены отечественным и зарубежным опытом расчета и конструирования зданий и сооружений, большинство из них содержится в Федеральном Законе №384 "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений". Очевидно, что их выполнение можно обеспечить только с помощью систем компьютерного моделирования.

К такому программному обеспечению можно отнести программный комплекс

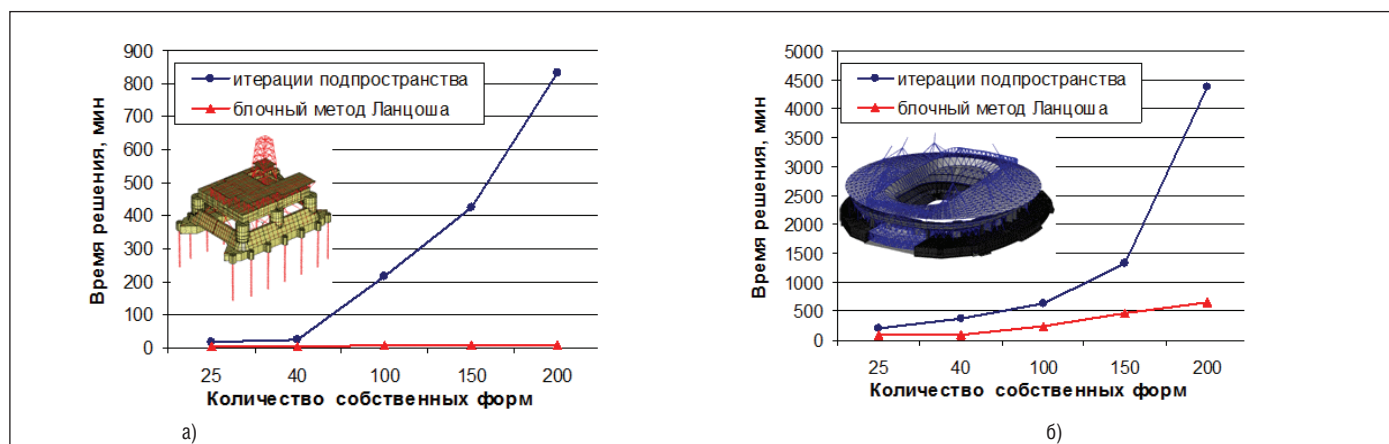


Рис. 1. Зависимость времени решения задачи от количества собственных форм:
а – нефтедобывающая платформа; б – стадион "Зенит-Арена", г. Санкт-Петербург

STARK ES 2014 (разработчик – ООО "ЕВРОСОФТ", Москва). За последние годы программный комплекс STARK ES получил серьезное развитие, в том числе в области расчетов на сейсмические воздействия [1, 2]. Ниже показана реализация некоторых методик, особенно важных при проведении сейсмического анализа зданий и сооружений.

Построение расчетных моделей современных зданий и сооружений часто приводит к получению задач достаточно большой размерности, для которых необходимо выполнение динамического анализа. Для быстрого и успешного решения таких задач в программном комплексе STARK ES был реализован блочный метод Ланцоша со сдвигами для расчета форм и частот собственных колебаний конструкции, позволяющий значительно сократить время расчета по сравнению с методом итерации подпространств в случае необходимости отыскания большого числа форм [3]. На рис. 1 сопоставлено время определения форм

собственных колебаний некоторых объектов двумя методами при различном числе искомых форм. Применение метода Ланцоша позволило сократить время расчета в среднем в 25 раз.

В программном комплексе STARK ES предусмотрен специальный "сейсмический" режим модального анализа [4], при котором автоматически определяется достаточное количество форм собственных колебаний, отбираются наиболее значимые из них, а также учитывается влияние высших найденных собственных форм колебаний.

Программа позволяет найти столько форм собственных колебаний, сколько требуется для обеспечения заданной суммы эффективных модальных масс модели по каждому из трех ортогональных направлений поступательного, а также ротационного сейсмического воздействия (согласно п. 5.9 [5], в расчете необходимо учесть не менее 90% динамической массы здания по горизонтальному направлению и 75% по верти-

кальному). Кроме того, собственные формы, эффективная модальная масса которых меньше заданного значения, из рассмотрения исключаются и в результате расчета не записываются, что значительно упрощает анализ общей сейсмостойкости сооружений с гибкими частями или элементами, колебания которых не оказывают существенного влияния на суммарную сейсмическую реакцию сооружения (рис. 2). Например, для достижения требуемой суммы модальных масс по каждому направлению сейсмического воздействия на покрытие стадиона, приведенное на рис. 2, было отобрано 52 формы собственных колебаний конструкции и исключено 206 несущественных форм.

Согласно указаниям первого абзаца п. 5.9 [5], в определенных случаях при расчете сейсмической реакции конструкции необходимо учитывать влияние найденных форм собственных колебаний. С этой целью в процессе решения формируются дополнительные век-

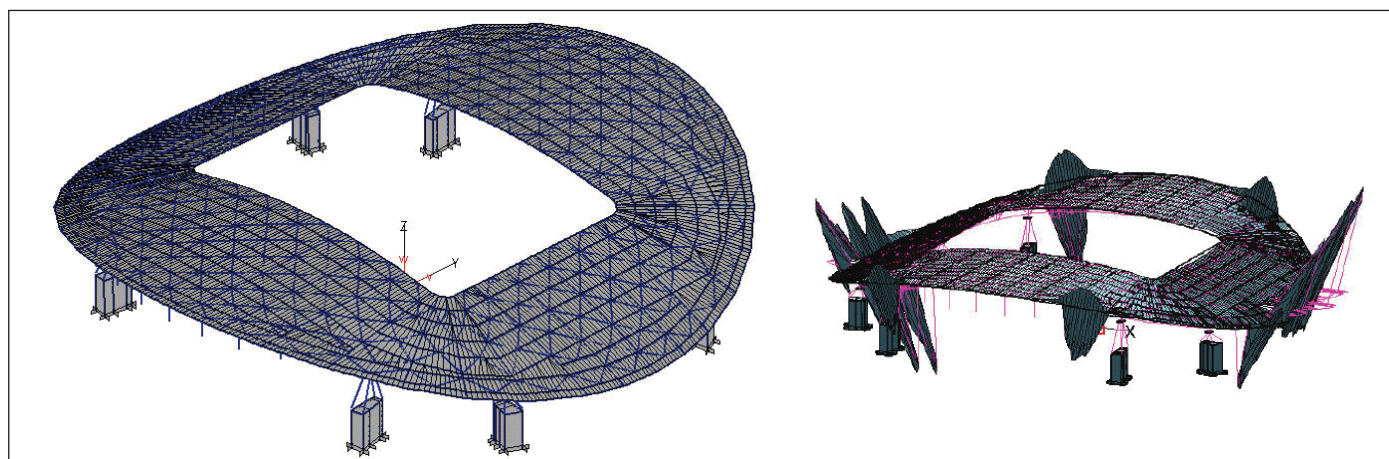


Рис. 2. Общий вид модели покрытия стадиона и пример исключенной формы колебаний

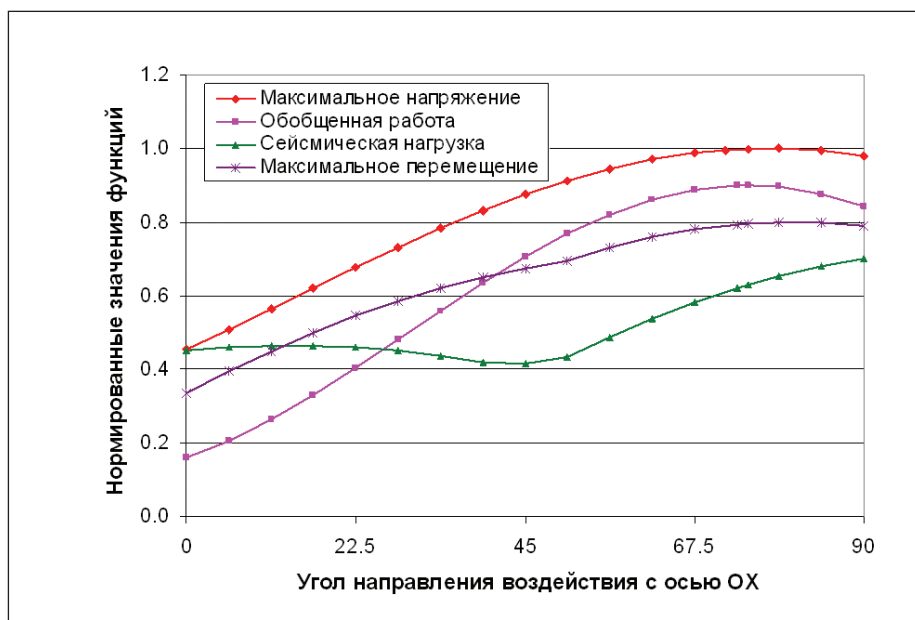


Рис. 3. Зависимость параметров сейсмической реакции консольного стержня от направления сейсмического воздействия

торы – "псевдоформы" колебаний. Сумма эффективных модальных масс при учете "псевдоформ" достигает 100% в каждом направлении, при этом обеспечивается М-ортогональность псевдовекторов, а соответствующие им частоты удовлетворяют исходной обобщенной задаче на собственные значения. Преимущество данного метода перед известными решениями, например [6], заключается в том, что при расчете реакции конструкции на сейсмическое воздействие "псевдоформы" могут использоваться наравне с собственными формами колебаний как при расчете в частот-

ной области, так и при расчете во временной области методом разложения по собственным формам. Определение опасного направления сейсмического воздействия [1] в программном комплексе STARK ES осуществляется по заново разработанной методике [7]. Здесь использован энергетический критерий, основанный на максимизации энергии упругой деформации конструкции. При этом, в отличие от ранее реализованного в программе подхода, учитывается спектр ответных ускорений конструкции. В большинстве случаев сейсмическое воздействие в на-

правлении, определенном таким образом, приводит к более интенсивному напряженному состоянию конструкции. На рис. 3 приведена зависимость параметров сейсмической реакции от направления воздействия для консольного многомассового стержня.

Из рис. 3 видно, что наибольшие напряжения в стержне возникают практически при том же направлении сейсмического воздействия, при котором реализуется максимум обобщенной работы инерционных сил (потенциальной энергии). При этом максимальная суммарная сейсмическая нагрузка и максимальное перемещение стержня возникают при других направлениях воздействия.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко выполнен расчет ряда строительных сооружений повышенного уровня ответственности [8] с учетом требований, перечисленных в начале статьи. В рамках работы по завершению строительства Богучанской ГЭС на реке Ангаре в лаборатории автоматизации исследований и проектирования сооружений был выполнен поверочный расчет четырех секций плотины ГЭС, претерпевших изменения по сравнению с проектом, утвержденным в 1979 году. Расчетные исследования плотины выполнены с применением программных комплексов STARK ES и ЛИРА-САПР. Проектировщиками плотины в институте "Гидропроект" им. С.Я. Жука был также использован ПК Ansys (рис. 4).

В результате расчета подтверждены требуемые прочность, устойчивость и сейсмостойкость сооружения. Произведено сравнение результатов расчета

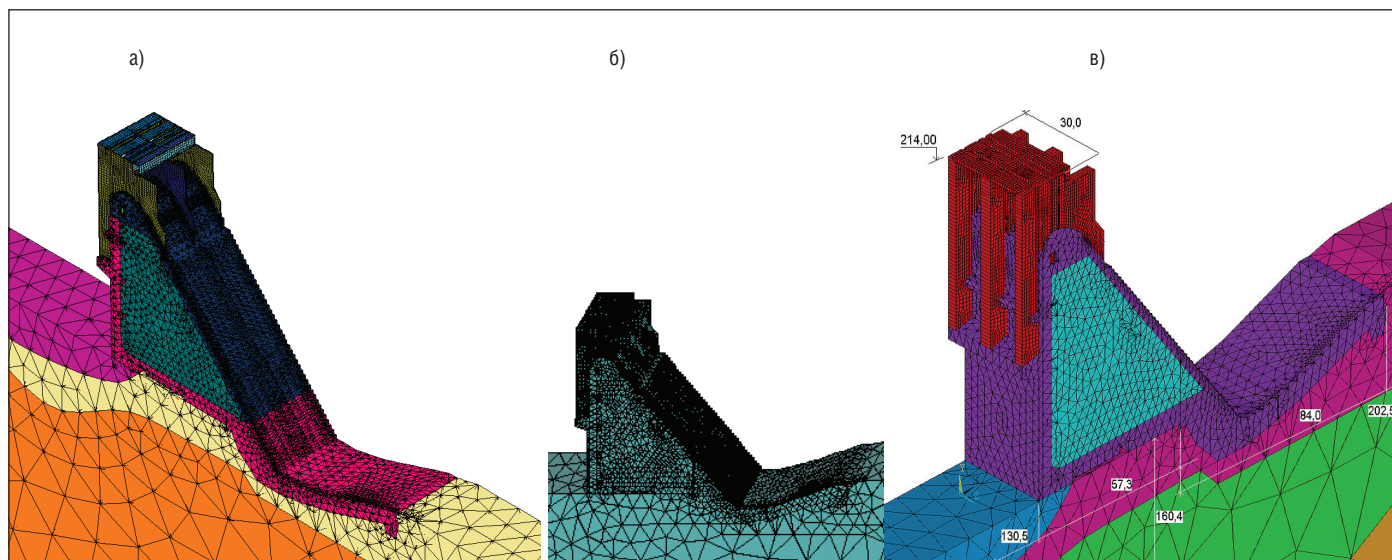


Рис. 4. Расчетные модели секций №21-22 плотины Богучанской ГЭС: а – в ПК STARK ES; б – в ПК ЛИРА-САПР, в – в ПК Ansys

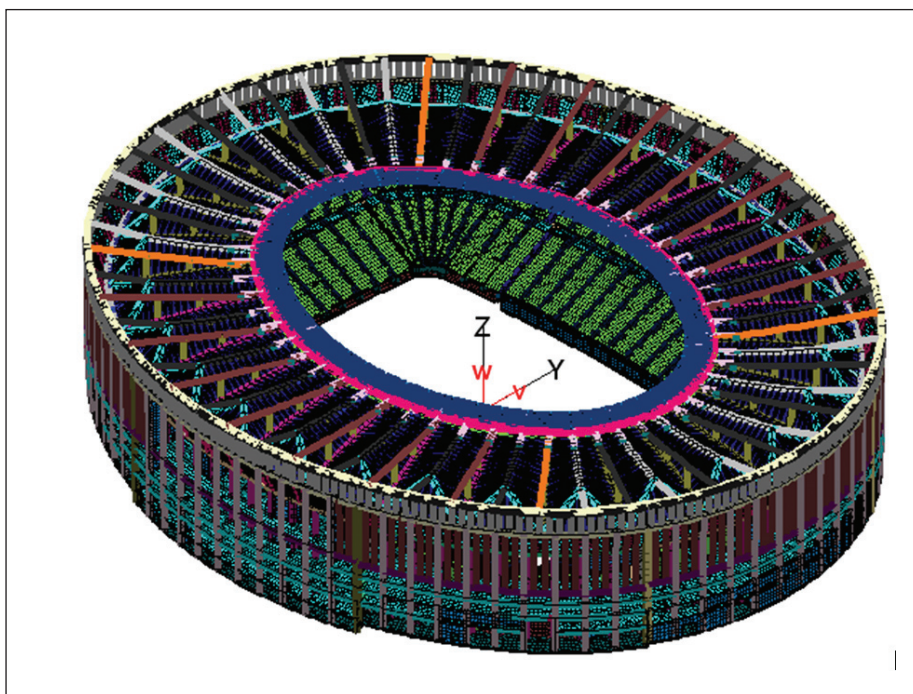


Рис. 5. Расчетная модель конструкций стадиона "Краснодар" в ПК STARK ES

плотины на сейсмические воздействия по основным параметрам напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций с результатами, полученными для основного сочетания нагрузок и при температурном воздействии с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха. Дана оценка влияния нелинейной работы контакта плотины с основанием на ее статическое и динамическое НДС.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко были разработаны специальные технические условия на проектирование, а также дана экспертная оценка проекту стадиона "П" на строительство нового стадиона "Краснодар". На рис. 5 представлен общий вид расчетной модели сооружения в ПК STARK ES.

Стадион "Краснодар", с одновременным пребыванием до 33 тысяч зрителей, представляет собой в плане овал с габаритами примерно 190,0x230,0 м, высотой трибун до 25,23 м и высотой покрытия над полем до 38,0 м. Конструктивная схема трибун и подтрибунных помещений решена в виде монолитного железобетонного каркаса с нерегулярной сеткой колонн. Покрытие над трибунами стадиона представляет собой предварительно напряженную вантовую систему с двумя сжатыми стальными коробчатыми наружными контурами и растянутым внутренним кольцом, состоящим из на-

бора восьми тросов. По системе вант натянута ортотропная полимерно-стеклотканевая мембрана толщиной 0,8 мм.

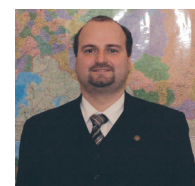
Сооружение рассчитано на восприятие 8-балльного землетрясения. Статический и динамический расчет конструкции выполнен с учетом начального предварительно напряженного состояния покрытия и геометрической и конструктивной (односторонняя работа вант и мембраны на растяжение) нелинейностей. Проверочный расчет конструкций стадиона, выполненный с использованием ПК STARK ES и ПК ЛИРА-САПР, подтвердил надежность конструктивных решений, предложенных проектировщиком.

Литература

1. Назаров Ю.П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия. — М.: Наука, 2010. — 468 с.
2. Назаров Ю.П. Расчетные модели сейсмических воздействий. — М.: Наука, 2012. — 413 с.
3. Якушев В.Л., Симбиркин В.Н., Филимонов А.В. Решение больших задач строительной механики методом конечных элементов в программном комплексе STARK ES // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и числен-

ные методы: Сб. трудов международной научно-практической конференции. — М.: МГСУ, 2010. — С. 516-526.

4. Симбиркин В.Н., Филимонов А.В. Определение собственных форм колебаний при расчете сооружений на сейсмические воздействия // Промышленное и гражданское строительство. — 2012. — № 3. — С. 27-30.
5. СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* // Минрегион России, 2010. — 84 с.
6. Безделев В.В., Буклемишев А.В., Сутырин Ю.А. Предложения по корректировке СНиП "Строительство в сейсмических районах" в части формулирования спектрального метода расчета. Ч. 1 // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2000. — № 6. — С. 43-47.
7. Симбиркин В.Н., Филимонов А.В. Определение опасных направлений сейсмического воздействия для пространственных сооружений // Вестник НИЦ "Строительство". Исследования по теории сооружений: Сб. статей. Вып. 6 (XXXI) / под ред. И.И. Ведякова и Г.С. Варданяна. — М.: НИЦ "Строительство", 2012. — С. 23-30.
8. Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В. Расчетное обоснование проектов пространственных сооружений в сейсмических районах // Будівельні конструкції, выпуск 76. — Киев, 2012, с. 215-221.



Юрий Панасенко,
руководитель группы экспертных
расчетов лаборатории автоматизации
исследований и проектирования
сооружений
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко;
начальник отдела
технического сопровождения
пользователей САПР
ООО "ЕВРОСОФТ"
Тел.: (499) 170-1080
E-mail: panyuriy@eurosoft.ru