

УДК 519.85:624.07

## ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА В ПК ЛИРА ВЕРСИИ 10.2

*к.т.н., с.н.с., Гераймович Ю.Д.\**, *д.т.н., в.н.с., Евзеров И.Д.\*\**,  
*Марченко Д.В.\*\*\**

*Группа компаний ЛИРА: \* – ООО “ЛИРА софт”*,  
*\*\* – ООО “ПРАЙМ КАД”, \*\*\* – ООО “ВЕГА КАД”, Киев*

Объекты жилищно-гражданского, промышленного, транспортного назначения являются функциональной основой национального богатства и важнейшим элементом материального культурно-исторического наследия.

Жизненный цикл объекта недвижимости как физического объекта – это последовательность процессов существования объекта недвижимости от замысла до ликвидации (утилизации) [1]. Теория жизненного цикла рассматривает аналогии между объектом строительства и живым организмом с присущими ему стадиями развития: зачатие - рождение - зрелость - старение - смерть. Стадии жизненного цикла объекта строительства именуется по-другому: предпроектная (замысел) – проектная – строительство – эксплуатация (обслуживание, ремонт, реконструкция) – закрытия (снос).

Проектная стадия жизненного цикла объектов строительства включает:

- вариантное проектирование (выбор рационального архитектурно-планировочного и конструктивного решения проектируемого здания или сооружения);
- расчет несущей способности, устойчивости, деформативности, собственных и вынужденных колебаний, воздействий вибрации на людей, выбор эффективной технологии возведения;
- разработка инженерных сетей (электрообеспечение и освещение, отопление, вентиляция и кондиционирование, водоснабжение и канализация, пожарная и охранная сигнализации и т.д.).

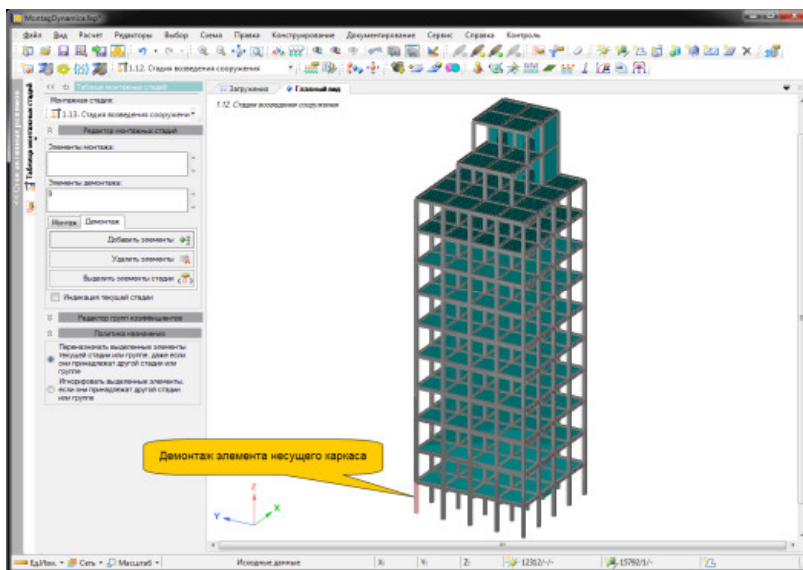
Главная цель проектировщиков – обеспечить долговечность существования, высокую надежность работы зданий и сооружений. Спроектированные конструкции должны успешно противостоят многочисленным нагрузкам, внешним силам и воздействиям, которым подвергается объект строительства за время полного жизненного цикла.

На протяжении многих лет программный комплекс (ПК) ЛИРА прекрасно зарекомендовал себя в области проектирования объектов строительной отрасли. Масштабность и сложность задач при проектировании объектов гражданского, промышленного и транспортного строительства изначально определили вектор направления развития линейки программных комплексов ЛИРА 10, и за последние несколько лет группа компаний ЛИРА обеспечила проектировщикам качественно новые инструменты и возможности [2].

ПК ЛИРА обладает многими уникальными возможностями для компьютерного моделирования процесса жизненного цикла зданий и сооружений, как на этапе проектирования, так и на этапах эксплуатации, реконструкции и анализа аварийного состояния.

Не так давно в обиход проектировщиков вошел термин “прогрессирующее обрушение” [3] – исследование живучести конструкции при выходе из строя отдельных элементов несущего каркаса.

При расчете на прогрессирующее обрушение, как и при выборе эффективной технологии возведения и расчете несущей способности с учетом особенностей технологического процесса возведения, актуальным инструментом остается система МОНТАЖ, которая была дополнена возможностью расчета смонтированного здания по системе ДИНАМИКА + (прямое интегрирование уравнений движения). В системе МОНТАЖ имеется возможность на отдельных этапах расчета демонтировать элементы, а также изменять жесткостные характеристики элементов, что может оказаться полезным при необходимости учета постепенного набора прочности бетоном или изменения прочности и жесткости железобетонных элементов в результате замораживания – размораживания в зимних условиях (рис. 1).



*Рис. 1. Моделирование форс-мажорного выхода из строя элемента несущего каркаса.*

В рамках применения системы МОНТАЖ имеется возможность моделировать процесс предварительного натяжения конструкции (вантовые

конструкции, анкера шпунтовых ограждений и др.).

В процессе жизненного цикла объекты строительства часто подвергаются динамическим нагрузкам. В ПК ЛИРА система ДИНАМИКА + предназначена для моделирования воздействия от нагрузок изменяющихся во времени. Для адекватного моделирования системы “грунт-сооружение” в системе ДИНАМИКА + появились конечные элементы (КЭ) неотражающих границ. Общеизвестно, что сейсмическая реакция системы “грунт-сооружение” может быть определена методами численного интегрирования общих уравнений движения. Для этого создается расчетная модель, куда входит само сооружение и некоторая область основания. При статических расчетах достаточно выбрать такой размер грунтовой области, чтобы краевые эффекты на ее внешних границах не сказывались на напряжениях под сооружением. Если же задать такую ограниченную область основания при сейсмических расчетах, то волны, отраженные от фундамента, которые при реальном землетрясении беспрепятственно уходят в полубесконечное основание, будут отражаться от границ области и возвращаться к сооружению, тем самым искажая его колебания. Чтобы этого не происходило, следовало бы отдалить границы грунтовой области настолько, чтобы эти волны за время землетрясения не успели пройти обратно. Но в действительности такое выполнить нереально, т. к. расчетная схема превысит все мыслимые размерности. Для возможности расчета таких задач и были реализованы КЭ неотражающих границ. Т. е. на краях грунтовой области ставятся конечные элементы, моделирующие беспрепятственное прохождение волн. Для плоских расчетных схем – это двухузловые КЭ, для пространственных расчетных схем – это трех- и четырех- узловые КЭ. Неотражающие граничные условия задаются в виде:

$$\sigma_n = c_n \rho u_n', \quad \sigma_\tau = c_\tau \rho u_\tau',$$

где  $c_n$ ,  $c_\tau$  – скорости продольной и поперечной волн,  $\rho$  – плотность грунта

Также система ДИНАМИКА + дополнилась расчетом по сейсмограммам землетрясений (рис. 2). Уравнения движения при расчете по сейсмограммам имеют вид:

$$M \ddot{\mathbf{u}}(t) + C \dot{\mathbf{u}}(t) + K(\mathbf{u}(t) + \bar{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{s}(t)) = 0,$$

где  $\bar{\mathbf{v}}$  - вектор направляющих косинусов сейсмического воздействия в опорных узлах,  $\mathbf{s}(t)$  – заданная сейсмограмма землетрясения. Предлагаемый подход к расчету является более естественным, нежели расчет на переносные силы инерции от акселерограмм, он также дает возможность учесть скорость распространения сейсмической волны. Существенные различия при расчетах по акселерограмме и сейсмограмме землетрясений следует ожидать в протяженных конструкциях, таких как мосты и большепролетные сооружения, за счет скорости распространения сейсмической волны (задается для расчета по сейсмограмме). Т. е. опорные части, в которые приложена сейсмограмма, включаются в работу не одновременно, а по мере

прохождения сейсмической волны. Это дает качественно другое распределение усилий, чем при расчете по акселерограмме.

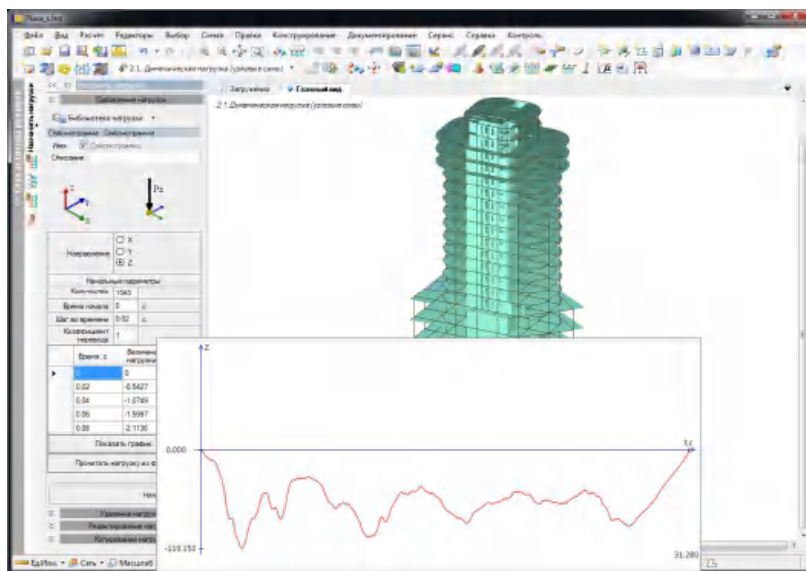


Рис. 2. Задание сейсмограммы землетрясения.

Но следует отметить, что до настоящего времени отсутствует общепринятый подход к определению ординат сейсмограмм по ординатам акселерограмм.

Учитывая факт нелинейного деформирования грунтов в системе “грунт-сооружение”, задача определения напряженно-деформированного состояния сооружения должна решаться с помощью нелинейных плоских и пространственных КЭ грунта, имеющих в библиотеке конечных элементов ПК ЛИРА. КЭ грунта учитывают особенности физико-механических свойств грунта – ветвь нагрузки не совпадает с ветвью разгрузки. Использование данных КЭ совместно с системой МОНТАЖ позволяет моделировать широкий спектр геотехнических задач: выемку грунта, анкеровку шпунтовых ограждений, работу основания конструкций с учетом сложных геологических условий, осадку грунта и т.д.

В КЭ грунта реализованы следующие модели поведения материала:

- модель Боткина;
- модель Друкера-Прагера;
- модель Кулона-Мора;
- аналитическая теория прочности [4].

Применительно к моделированию жизненного цикла объекта строительства может быть использована система ВАРИАЦИИ МОДЕЛЕЙ, позволяющая в рамках одной задачи варьировать не только нагрузкой (традиционный расчет), но и жесткостными характеристиками элементов, граничными условиями, шарнирами, материалами, упругим основанием, динамическими модулями и типами задач (при сохранении топологии системы). Это обеспечивает учет таких факторов как изменение жесткости грунтового основания при динамических (в том числе и сейсмических) воздействиях, форс-мажорный выход из строя отдельных элементов для решения задач устойчивости к прогрессирующему обрушению и др.

Вариация моделей – это унификация РСУ топологически одинаковых расчетных схем. Т. е. предполагается, что выполнены расчеты нескольких одинаковых по топологии расчетных схем, в которых можно варьировать указанные выше параметры. Выполнив расчет по системе ВАРИАЦИИ МОДЕЛЕЙ, получаем огибающие РСУ всех задач.

Являясь разработчиками ПК ЛИРА, мы также уделяем большое внимание качеству сопровождения: доброжелательный персонал службы сопровождения оперативно (посредством личной встречи, на звонок по телефону, на письмо по e-mail: [lira10@lira.com.ua](mailto:lira10@lira.com.ua)) ответит на вопросы лицензионных пользователей и выполнит оперативный анализ файлов задач пользователя.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Асаул А. Н., Абаев Х. С., Молчанов Ю. А. Управление, эксплуатация и развитие имущественных комплексов. – СПб.: Гуманистика, 2007. – 240 с.
2. Гераймович Ю. Д., Євзеров І. Д., Марченко Д. В. Новий етап розвитку програмного комплексу Ліра® / Будівельний журнал №11-12 (98-99), 2013. – Стор. 30-34.
3. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. МДС 20-2.2008 / ФГУП “НИЦ “Строительство”. – М.: ОАО “ЦПП”, 2008. – 16 с.
4. Литвинский Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Монография / ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.