

# **У Ч Е Б Н Ы Й   К У Р С**

## **«Продвинутый анализ железобетонных конструкций каркасов с использованием ПК «ЛИРА-САПР»**

### **О курсе**

Курс «Продвинутый анализ железобетонных конструкций каркасов с использованием ПК «ЛИРА-САПР» ориентирован на формирование у слушателей навыков эффективного построения и анализа расчётных моделей относительно сложных (преимущественно пространственных) конструкций железобетонных монолитных каркасов зданий с гладкими плитами перекрытий (плоскими или усиленными ригелями и/или капителями) и является естественным продолжением базового курса. Рассматриваются линейные задачи статического и динамического анализа, а также задачи статики в нелинейно упругой постановке с учётом специфики материала конструкции – железобетона. Для решения прикладных задач используется инструментарий программного комплекса (ПК) «ЛИРА-САПР», ПК «МОНОМАХ-САПР» и «ЭСПРИ».

В курсе предусмотрены теоретические пояснения, необходимые для проведения слушателем осознанного анализа задач о напряжённо-деформированном состоянии (НДС) железобетонных конструкций, а также подбора и проверки армирования сечений их элементов. Предусмотрено время для самостоятельной проработки пройденного материала в процессе построения моделей рассмотренных задач и консультаций слушателей.

Продолжительность курса – 40 учебных часов (5 рабочих дней). Развёрнутая программа курса представлена в таблице П.1.

### **Требования к уровню предварительной подготовки слушателей**

Предполагается, что слушатели курса обладают базовыми знаниями по курсам «Соппротивление материалов» и «Строительная механика» в рамках специальности «Промышленное и гражданское строительство» и имеют опыт конструирования железобетонных конструкций, а также владеют навыками работы в операционных системах семейства Windows и их приложениях. Предполагается также, что слушатели усвоили материал учебного курса «Базовый анализ строительных конструкций с использованием ПК «ЛИРА-САПР».

Курс ориентирован на инженеров-конструкторов, специализирующихся на проектировании железобетонных конструкций (в частности, каркасов с монолитными плитами перекрытий).

### **Структура курса**

На протяжении всего курса на конкретных практических примерах рассматриваются следующие темы:

1. расширение круга предпосылок моделирования и анализа конструкций;
2. углубленное изучение графической среды ПК «ЛИРА-САПР», знакомство модулем «Компоновка» ПК «МОНОМАХ-САПР» и интерфейсом модуля «Продавливание по прямоугольному контуру» пакета прикладных программ «ЭСПРИ»;
3. изучение эффективных инструментов построения КЭ-сеток (внешние триангуляторы на нетривиальных формах двумерных областей) и редактирования расчётных схем;
4. изучение расширенных инструментов анализа расчётных схем;

## 5. ответы на вопросы и консультации слушателей.

Вышеназванные темы последовательно раскрываются в процессе постановки, решения и анализа задачи расчёта пространственного железобетонного каркаса в целом и его совместно работающих элементов (плит перекрытий, колонн, устоев жёсткости). Особенность курса состоит в том, что формируется полная задача постепенно, шаг за шагом. На каждом шаге (этапе) построения модели проводится промежуточный анализ, высвечивающий ту или иную сторону работы конструкции или отдельной её части:

1. монолитная железобетонная плита перекрытия в упругой постановке и с учётом развития нелинейных деформаций основного материала и раскрытия трещин (15,5 уч. часов):
  - центральный фрагмент на одной колонне (7,5 часов),
  - полоса плиты на нескольких колоннах (4,0 часа),
  - цельная плита на колоннах и стенах (4,0 часа);
2. каркас здания с монолитными плитами перекрытий с учётом пульсации ветра и/или сейсмического воздействия:
  - на абсолютно жёстком основании (8 уч. часов),
  - на податливом основании (12 уч. часов).

**Что в результате?**

По окончании курса слушатели:

1. имеют возможность осознанно принять расчётную модель для конкретных целей и/или условий анализа конструкции многоэтажного каркаса с монолитными плитами перекрытий;
2. владеют эффективными приёмами построения, редактирования и контроля относительно крупной и сложной расчётной модели многоэтажного здания средствами графических сред ПК «ЛИРА-САПР» и «МОНОМАХ-САПР»;
3. получают навыки применения расширенных методов анализа конструкции в среде ПК «ЛИРА-САПР»;
4. знают продвинутые приёмы и способы проверки формальной правильности описания исходных данных и диагностики возможных ошибок;
5. могут вести графическое и табличное документирование результатов анализа.

**Таблица П.1.** Перечень тем и вопросов по продвинутому курсу пользователей ПК «ЛИРА-САПР»

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Кол-во уч. час.
		<b>Первый день</b>	
	Введение	Обзор продвинутого курса – описание объектов анализа (монолитная плита перекрытия и цельный каркас здания)	0,5
1.1	Расчёт и анализ центрального фрагмента монолитной плиты перекрытия (линейный вариант)	Постановка задачи на анализ монолитной железобетонной плиты и первой её части (центральный фрагмент) Формирование комбинированной оболочечно-стержневой расчётной модели первого фрагмента плоской плиты перекрытия «с нуля» (средствами ПК «ЛИРА-САПР»): описание сети конечных элементов (с учётом действительных размеров конструктивных элементов), описание жёсткостей и связей, приложение статических нагрузок	2,5

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Кол-во уч. час.
		Формирование таблиц РСН, РСУ, исходных данных для подбора армирования и расчёта продавливающих усилий Расчёт на продавливание (с помощью «ЭСПРИ») Расчёт и сравнительный анализ результатов статического расчёта фрагмента на двух вариантах КЭ-сетки	
1.2	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС и армирования, оценка и анализ результатов расчёта центрального фрагмента плиты	1,0
	Обеденный перерыв		
1.3	Расчёт и анализ центрального фрагмента монолитной плиты перекрытия с учётом принятого армирования (нелинейный вариант)	Углубление постановки задачи для центрального фрагмента до уровня учёта развития нелинейных деформаций бетона и раскрытия трещин Описание дополнительных исходных данных для проведения физически нелинейного расчёта: смена типов КЭ, законы деформирования основного и армирующего материалов, параметры армирования, последовательность нагружения расчётной схемы Расчёт и сравнительный анализ результатов статического расчёта центрального фрагмента на двух вариантах КЭ-сетки	2,5
1.4	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС, оценка и анализ результатов расчёта центрального фрагмента плиты	1,5
		<b>Второй день</b>	
2.1	Расчёт и анализ полосового фрагмента монолитной плиты перекрытия (нелинейный вариант)	Расширение геометрических и нагрузочных условий задачи для первого фрагмента плиты (в нелинейном варианте) до уровня второй частности (полосовой фрагмент плиты) Расчёт и анализ результатов статического расчёта центрального и полосового фрагментов в нелинейной постановке Расчёт на продавливание (с помощью «ЭСПРИ»)	1,5
2.2	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС, оценка и анализ результатов расчёта полосового фрагмента плиты	0,5
2.3	Расчёт и анализ полосового фрагмента монолитной плиты перекрытия (линейный вариант)	Усечение условий задачи для второго фрагмента плиты (полосовой фрагмент плиты) с нелинейного варианта до линейного Расчёт и сравнительный анализ результатов статического расчёта полосового фрагмента в нелинейном и линейном вариантах (один вариант КЭ-сетки)	1,0
2.4	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС и армирования, оценка и анализ результатов расчёта полосового фрагмента плиты	1,0
	Обеденный перерыв		
2.5	Расчёт и анализ цельной монолитной плиты перекрытия (линейная и нелинейная постановка задачи)	Расширение геометрических и нагрузочных условий задачи для второго фрагмента плиты (в нелинейном варианте) до уровня полной задачи (цельная плита перекрытия) Расчёт и сравнительный анализ результатов статического расчёта полосового фрагмента и цельной плиты в различных постановках задачи	1,5
2.6	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС, оценка и сравнительный анализ результатов расчёта цельной плиты и её фрагментов	1,5

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Кол-во уч. час.
		<b>Третий день</b>	
3.1	Введение. Знакомство с графическим интерфейсом ПК «МОНОМАХ-САПР»	Идеология подхода к построению расчётных моделей многоэтажных зданий, принятая в ПК «МОНОМАХ-САПР» Описание интерфейса (ниспадающее и контекстное меню, панели инструментов) окна приложения ПК «МОНОМАХ-САПР»	0,5
3.2	Моделирование каркаса здания с монолитными плитами перекрытий на абсолютно жёстком основании	Формирование расчётной модели каркаса в укрупнённых терминах (колонны, стены, балки, плиты перекрытий и фундаментные, блоки нагрузок и проч.). Расчёт в рамках ПК «МОНОМАХ-САПР» (по инженерной методике) и анализ результатов	2,0
3.3	Самостоятельная работа	Изучение интерфейса ПК «МОНОМАХ-САПР» в процессе моделирования каркаса многоэтажного здания и анализа предварительных результатов	1,5
	Обеденный перерыв		
3.4	Расчёт и анализ каркаса здания с монолитными плитами перекрытий на абсолютно жёстком основании с учётом пульсации ветра и/или сейсмического воздействия	Экспорт модели в ПК «ЛИРА-САПР» Формирование исходных данных для подбора армирования колонн и несущих стен Расчёт НДС, собственных характеристик (частот и форм колебаний) и армирования элементов конструкции каркаса на абсолютно жёстком основании Критический анализ результатов статического, динамического расчёта и расчёта на общую устойчивость	1,0 + 1,0
3.5	Самостоятельная работа	Экспорт модели, расчёт НДС и армирования. Анализ результатов расчёта конструкции каркаса	1,0 + 1,0
		<b>Четвёртый день</b>	
4.1	Учёт взаимодействия здания и основания. Модели оснований	О некоторых наиболее распространённых моделях оснований зданий и их реализации в ПК «ЛИРА-САПР» («клавишная» модель и её модификации, объёмная модель). Модуль «ГРУНТ»	1,0
4.2	Расчёт и анализ осадок естественного основания под зданием	Формирование модели грунта. Генерация полей коэффициентов постели (по разным модификациям «клавишного» алгоритма) для случая гибкого штампа нагрузки. Анализ расчёта осадок	1,5
4.3	Самостоятельная работа	Формирование модели грунта. Расчёт и анализ осадок	1,5
	Обеденный перерыв		
4.4	Расчёт и анализ конструкций каркаса здания (на фундаментной плите) на упругом основании, смоделированном коэффициентами постели	Формирование совместной расчётной модели каркаса на упругом основании (клеёнка коэффициентов постели) «подключением» к ней имеющейся модели грунта Расчёт задачи и критический анализ результатов расчёта (осадки, усилия, армирования). Сравнение со схемой каркаса на абсолютно жёстком основании (перемещения, усилия, частоты)	2,5
4.5	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС и армирования. Анализ результатов расчёта элементов каркаса на упругом основании («клавишная» модель грунта)	1,5

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Кол-во уч. час.
		<b>Пятый день</b>	
5.1	Расчёт и анализ конструкций каркаса здания (на фундаментной плите) на упругом основании, смоделированном массивом объёмных КЭ	Формирование совместной расчётной модели каркаса на упругом основании (объёмный массив) «подключением» к ней имеющейся модели грунта Расчёт задачи и критический анализ результатов расчёта. Сравнение со схемой каркаса на упругом основании, смоделированном коэффициентами постели	2,5
5.2	Самостоятельная работа	Моделирование, расчёт НДС и армирования. Анализ результатов расчёта конструкции каркаса на упругом основании (объёмная модель грунта)	1,5
	Обеденный перерыв		
5.3	Заключение	Обсуждение со слушателями путей возможного решения их насущных расчётных задач, ответы на вопросы. Рекомендации по формированию расчётных моделей конструкций. Возможные темы обсуждений: - моделирование местных особенностей (балок жёсткости и утолщений монолитных плит перекрытий на колоннах); - учёт последовательности возведения и нагружения конструкции; - суперэлементная техника моделирования упругих конструкций с развитой регулярной структурой; - автоматизация рутинных расчётов осадок по нормативным методикам.	4,0
	<b>ВСЕГО</b>		<b>40,0</b>

Программа курса включает чтение теоретического материала, показ исполнения расчётных схем простейших конструкций, их анализ с помощью инструментария программных комплексов «ЛИРА-САПР» и «МОНОМАХ-САПР», консультации и ответы на вопросы слушателей в процессе исполнения ими заданий курса.

Рекомендуемая литература по курсу:

1. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности. – М.: Изд. АСВ, 2004. – 424 с.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с., ил.
3. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2007. – 394 с.

**Автор и ведущий курса, Шатров Евгений Юрьевич,**  
специалист по анализу прочности конструкций,  
квалифицированный инструктор ПК «ЛИРА-САПР»