



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК

Научный совет «Программные средства в строительстве и архитектуре»

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 06/ЛИРА-САПР/2015

о верификации программного средства, применяемого для определения параметров напряженно-деформированного состояния, оценки прочности и деформативности конструкций и сооружений

Программное средство: **ЛИРА-САПР** — специализированный программный комплекс расчета напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе метода конечных элементов

Разработчик: **ООО «ЛИРА СЕРВИС»** (Россия), **ООО «ЛИРА САПР»** (Украина)

Заявитель: **ООО «ЛИРА СЕРВИС»** (Россия)

Автор верификационного отчета: **МНИИТЭП, ООО «ЛИРА СЕРВИС»** (Россия), **ООО «ЛИРА САПР»** (Украина)

Дата включения в реестр верифицированных программных средств: **23 декабря 2015 года**

Срок действия свидетельства: **23 декабря 2025 года**

Перечень верифицированных возможностей программного средства ЛИРА-САПР изложен в приложении (на 4 стр.), являющемся неотъемлемой частью настоящего Свидетельства, и в верификационном отчете (3 тома на 419 стр.)

Вице-Президент

Академик-Секретарь

Председатель Научного Совета


 **В.М. Травуш**

Н.И. Карпенко

В.Н. Сидоров



ПРИЛОЖЕНИЕ К СВИДЕТЕЛЬСТВУ О ВЕРИФИКАЦИИ ПС № 06/ЛИРА-САПР/2015

ЛИРА-САПР — специализированный программный комплекс расчета напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе метода конечных элементов.

Возможности комплекса, подтвержденные верификацией

Виды расчетных схем:

- стержневые системы плоские и пространственные;
- пластинчатые системы плоские и пространственные;
- мембраны;
- вантовые системы;
- массивные конструкции, работающие в условиях пространственной задачи теории упругости;
- произвольные комбинированные системы: конструкции с учетом податливых опор (в том числе односторонних), с учетом грунтового основания, рамно-связевые системы и др.

Граничные (краевые) условия:

задачи расчета НДС — заданные перемещения и кинематические связи групп узлов.

Нагрузки и воздействия:

- силовые воздействия;
- деформационные воздействия;
- температурные воздействия;
- преднапряжение.

Виды расчетов:

- расчет на статические нагружения;
- определение собственных частот и форм свободных колебаний;
- расчет на вынужденные колебания;
- линейная устойчивость;
- моделирование процесса возведения;
- режим суперэлементов.

Нелинейные факторы:

- конструктивная (односторонние связи);
- физическая (нелинейно упругая работа);
- геометрическая нелинейность;
- генетическая нелинейность (история возведения - нагружения)

Набор конечных элементов (КЭ) прошедших верификацию:

1. стержневые элементы:
 - ферменные — 2 или 3 степени свободы;
 - «плоские» изгибаемые — 3 степени свободы;



- пространственные – 6 степеней свободы;
- 2. пластинчатые элементы (изотропные и ортотропные):
 - плоско-напряженного состояния (балка-стенка) – 2 степени свободы;
 - изгибаемые – 3 степени свободы (плита тонкая);
 - пологая оболочка – 5 степеней свободы (оболочка тонкая);
- 1. объемные элементы – 3 степени свободы в узле;
- 2. специальный элемент податливой связи;
- 3. специальный элемент преднапряжения (форкопф);
- 4. специальный элемент податливой односторонней связи;
- 5. специальный элемент упругой связи с учетом предельных усилий;
- 6. физически нелинейные конечные элементы типа 1-2, в том числе из биматериала (железобетон);
- 7. геометрически нелинейные конечные элементы типа 1-2.

Ограничения на вычислительные параметры решаемых задач:

Размерность систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), решаемых программным комплексом, ограничены доступной оперативной и дисковой памятью ЭВМ, разрядностью процессора и операционной системы. В расчетном процессоре ограничений на размерность задач в явном виде не задано.

Тестовая задача на размерность и быстродействие с использованием суперэлементного подхода и без имеет такие параметры:

- количество суперэлементов – 816
- количество типов суперэлементов – 3
- общее количество неизвестных – 19421820
- количество неизвестных в одном суперэлементе – 51418
- время расчета (включая составления уравнений; решение, вычисления усилий и перемещений, построение изополей) составляет с применением суперэлементов 9 минут, без применения суперэлементов 61 минута.

Характеристики процессора:

Pentium Core i7 (8 ядер), частота 3.4 GHz, оперативная память 16 GB, жесткий диск SSD.

Характеристика точности верификационных расчетов:

Максимальные погрешности по группам приведенных тестов составили:

Линейная статика	3.9% (85.5%)
Устойчивость	3.64%
Спектральный динамический анализ	7.9%
Прямой динамический анализ	8.92%
Физическая нелинейность	10.74%
Конструктивная нелинейность (контактные задачи)	15.16%
Геометрическая нелинейность	6.28%
Геометрические характеристики сечений	0.67%
Патологические тесты	43%

Максимальные погрешности для стандартных тестов получены для таких типов



задач, как спектральный динамический анализ, конструктивная и физическая нелинейности. Они не превышают 16%, что говорит о хорошей обеспеченности результата. Более существенные отклонения (до 86% по напряжениям в нескольких задачах линейной статики, и до 43% по перемещениям в патологических тестах) были получены на достаточно грубых сетках. Так, например, в патологическом тесте 8.1 погрешность по перемещениям 43% была получена на консольной балке-стенке с одним элементом по высоте сечения, но при разбиении на 4 элемента погрешность составляла уже 5.1%, т.е. при сгущении сетки наблюдается быстрая сходимость результатов.

Максимальные погрешности на задачах линейной статики были получены по напряжениям в тестах 1.17, 1.20 и 1.21, что связано так же с недостаточно мелкой триангуляцией тех зон массива конструкции, где наблюдается резкое изменение напряжений. При этом погрешность по перемещениям в этих задачах составила не более 6%, что свидетельствует о корректности решения задачи в целом. Для уточнения результатов по напряжениям достаточно сгустить сетку конечных элементов в зонах пикообразных изменений напряжений.

Сведения о методиках расчета, реализованных в ПК ЛИРА-САПР

В ПК ЛИРА-САПР реализован метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) проводится прямым методом Гаусса. С целью минимизации профиля матрицы применяются следующие методы оптимизации: обратный алгоритм Катхилла–Макки, алгоритм «фактор деревьев», алгоритм минимальной степени.

Для решения задач физической нелинейности (для стержней и оболочек) и геометрической нелинейности применяется шаговый метод (простой шаговый или с уточнением на каждом шаге). Для задач конструктивной нелинейности (односторонние связи) и физической нелинейности (для балок-стенок и объемных элементов), в том числе для грунтовых массивов, применяется метод компенсирующих нагрузок.

Собственные частоты и формы колебаний, а также критические значения нагрузки и формы потери устойчивости определяются из решения обобщенной проблемы собственных значений методом итераций подпространств.

Сведения о базах данных, используемых в ПК ЛИРА-САПР

Имеются следующие базы данных:

- ферменные — 2 или 3 степени свободы;
- редактируемая база данных физико-механических свойств бетона и арматуры для различных классов;
- редактируемая база данных физико-механических свойств бетона и арматуры для различных классов;
- редактируемая база прокатных профилей стальных конструкций и марок/классов стали;
- база параметров ветровых нагрузок для различных районов;
- база параметров сейсмических нагрузок для различных районов.



Сведения о наличии контекстных справок и инструкций.

Имеется расширенная система контекстных поставок. Одновременно с выходом новой версии (ЛИРА-САПР 2011, ЛИРА-САПР 2012, ЛИРА-САПР 2013, ЛИРА-САПР 2014, ЛИРА-САПР 2015) выходит руководство пользователя. Теоретические основы ПК ЛИРА-САПР изложены в ряде публикаций (см. том I).

Официальные эксперты:

Руководитель компьютерного
центра МОСПРОЕКТ, д.т.н., проф.

М.С. Вайнштейн

Д.т.н., профессор кафедры
«Мосты и тоннели» НТУ

А.И. Лантух-Лященко

Председатель Научного Совета РААСН

«Программные средства
в строительстве и архитектуре»

д.т.н., проф.

В.Н. Сидоров