

## Список НОВЫХ ФУНКЦИЙ и ВОЗМОЖНОСТЕЙ программных продуктов линейки «APM» v21

Уважаемые коллеги и друзья!

Коллектив НТЦ «АПМ» сообщает, что в марте 2025 г. выпущена новая 21-я версия наших программных продуктов – расчетных систем линейки «APM».

APM WinMachine 21 – CAE-система для анализа прочности, моделирования физических процессов, расчетов деталей машин и механизмов.

APM Civil Engineering 21 – CAE-система для промышленного и гражданского строительства.

Ниже мы приводим список новых функций и возможностей основных расчетных модулей и дополнительных опций.

### **APM Structure3D**

*Модуль расчета напряженно-деформированного состояния, устойчивости, собственных и вынужденных колебаний деталей и конструкций методом конечных элементов*

#### **Импорт/экспорт**

Проведена доработка импорта файлов формата BDF. При импорте файлов реализована настройка всех используемых программой единиц измерения.

Реализован импорт файлов ANSYS (\*.cdb). Данный функционал работает в тестовом режиме и пока способен передавать ограниченный перечень типов КЭ и граничных условий (подробнее в Приложении).

#### **Библиотека КЭ**

Добавлены плоские (2D) конечные элементы (3-х и 4-х узловые) для моделирования твердотельных конструкций, обладающих осевой симметрией, а также находящихся в плоско-напряженном (ПНС) и плоско-деформированном (ПДС) состояниях.

При этом расчетная модель строится в плоскости OXY и представляет собой:

- в случае осевой симметрии – сечение в осесимметричной плоскости модели;
- в случае ПНС – поперечное сечение конструкции конечной толщины;
- в случае ПДС – поперечное сечение бесконечно толстой конструкции.

## Новые типы документов

- Двумерная осесимметричная конструкция.
- Двумерное плоско-деформированное состояние.
- Двумерное плоско-напряженное состояние.

## Задание граничных условий (ГУ)

Для стержневых КЭ в дереве «Расчетная модель» добавлена возможность задания «Распределенной нагрузки», «Распределенного момента», а также «Ветровой нагрузки».

## Автоматизация

Добавлена опция «Удаление исходных объектов» для команды «Выталкивание».

В строке состояния в крайнем правом положении добавлен индикатор активации режима «динамического выделения» (включение режима Shift+ПКМ). Благодаря этому, пользователь явно видит какой тип объектов (узел, стержень, пластина, твердотельный элемент) будет выбираться на рабочем поле.

В настройках программы оставлено только одно место для настройки единиц измерения (убрана отдельная настройка единиц измерения для карт результатов).

На все элементы дерева «Расчетная модель» добавлена возможность удаления по кнопке Delete (с вопросом об удалении, который требует подтверждения от пользователя).

Разработан функционал для написания скриптов. Консоль Python может быть вызвана пользователем через главное меню «Вид». В первой реализации доступны базовые функции создания материалов, сечений, конечных элементов, приложения некоторых видов нагрузок, запуска нескольких типов расчетов (без нелинейности), а также запросы результатов.

## Выполнение расчетов

Для гармонического анализа добавлен новый алгоритм решения – «суперпозиция мод», что позволяет получить результаты для больших задач за ощутимо меньшее время по сравнению с алгоритмом "FULL". Однако, алгоритм «суперпозиции мод» обладает рядом ограничений: невозможность задания кинематической нагрузки по перемещению; демпфирование задаётся отдельно для каждой моды, учитываемой в расчёте (при этом демпфирование для отдельных элементов и материалов будет проигнорировано). Алгоритм «суперпозиции мод» позволяет использовать элементы связи (RBE-элементы) не только с методом учета через функцию «Штрафа», но и другими методами («Исключение» или «Множители Лагранжа»).

Реализовано получение итоговых величин линейного коэффициента температурного расширения слоистого композита с учетом термических анизотропных свойств каждого монослоя.

Добавлена возможность проводить расчеты в осесимметричной постановке (в текущей версии доступен расчет только отдельных деталей).

Реализовано решение задач плоского напряженного состояния и плоского деформированного состояния (в текущей версии доступен расчет только отдельных деталей).

Проведена оптимизация расчетных алгоритмов, которая позволила ускорить расчеты конструкций, содержащих стержневые КЭ.

Реализован обширный перечень нового функционала для топологической оптимизации конструкций:

- Добавлен новый отклик «Собственная частота с преднагрузением»;
- Расширены возможности откликов «Собственная частота» и «Устойчивость»:
  - реализован учёт повторяющихся собственных значений;
  - реализовано отслеживание собственной формы;
  - добавлен выбор индекса собственной формы.
- Для технологического ограничения «3d-печать»:
  - переработан алгоритм, что позволяет получать намного более эффективный результат;
  - исключена необходимость подбирать «весовой коэффициент»;
  - добавлена возможность регулировать угол нависания.
- Взаимодействие с итерационными решателями:
  - разработан усовершенствованный алгоритм итерационного решателя, учитывающий особенности задачи топологической оптимизации;
  - для улучшения сходимости появилась возможность учитывать решение с предыдущих итераций;
  - реализовано использование итерационного решателя для нахождения сопряженных векторов;
- Реализован новый оптимизатор, полностью собственной разработки;
- Оптимизирован отклик «напряжения» по памяти и производительности;
- Изменена (усовершенствована) логика взаимодействия технологических ограничений с NDS (NonDesignSpaces) и пустотами в модели, что расширяет круг решаемых задач;
- Учёт решения задачи стационарной теплопроводности;
- Усовершенствованы алгоритмы для технологических ограничений типа «штамповка» и «фрезеровка».

Разработаны новые решатели СПАУ, использующие струнно-волновой метод:

- Для статического расчета для одного и нескольких загружений на CPU – CPUtensortrain, на GPU – CUDAtensortrain. Расчет проводится для двух случаев: когда оперативной памяти хватает; когда оперативной памяти не хватает и блоки результатов промежуточных расчетов сохраняются на жестком диске по адресу, указанному пользователем;
- Для расчета собственных частот на CPU – ТТ, а для GPU – CUDA\_ТТ. Расчет проводится для двух случаев: когда оперативной памяти хватает; когда оперативной памяти не хватает и блоки результатов промежуточных расчетов сохраняются на жестком диске по адресу, указанному пользователем.

### **Вывод и анализ результатов**

Возможность использования нормализации при выводе форм собственных частот и форм потери устойчивости вынесена в настройки программы в раздел «Настройки программы» подраздел «Настройки карт результатов».

Добавлена возможность просмотра результатов для «Групп выделенных элементов». Она работает параллельно с возможностью регулировать видимость элементов конструкции путем включения/выключения «Слоев». При одновременном использовании сразу и групп, и слоев пользователю необходимо самостоятельно контролировать их возможное «пересечение».

Добавлена возможность на карте результатов регулировать размер диапазона - «нижнее белым».

Добавлена возможность создавать траектории на пластинах и стержнях для последующего вывода по ним результатов расчета.

### **Новая функциональность для расчетов строительных конструкций**

- Расширен функционал упругих оснований:
  - Универсальный интерфейс в дереве «Расчетная модель»;
  - Расчёт плитных фундаментов на разных отметках;
  - Учёт просадочных свойств грунта при определении осадок;
  - Расширение функционала учёта максимальной глубины сжимаемой толщи и веса грунта обратной засыпки;
  - В узле упругие основания коэффициенты постели вычисляются автоматически только по заданной модели грунта;
  - Постоянные значения коэффициентов постели задаются в отдельном узле дерева.
- Разработан функционал свайных фундаментов:
  - Универсальный интерфейс в дереве «Расчетная модель»;

- Возможность определения жёсткости упругих опор в горизонтальной плоскости по заданной модели грунта с учётом взаимного влияния свай;
  - Возможность определения жёсткости упругих опор в вертикальном направлении под нижними концами свай с учётом взаимного влияния;
  - Добавлены алгоритмы вычисления жёсткости упругих опор по моделям свайного куста и условного фундамента;
  - Учёт взаимного влияния плитных и свайных фундаментов.
- Осуществлен перенос функционала для расчета стальных конструктивных элементов в единый интерфейс в дерево «Расчетная модель».
  - Расширен функционал работы с тонкостенными конструктивными элементами (ЛСТК):
    - Реализация проверок конструктивных элементов как по EN 1993-1-3 2006, так и по СП 260.1325800.2016;
    - Возможность просмотра геометрических характеристик эффективного сечения;
    - Возможность вывода наглядного отображения эффективного сечения.
  - Реализовано цветное отображение постоянных коэффициентов постели для стержней, пластин и твердотельных КЭ.

### **APM Studio**

*Модуль геометрического моделирования  
с инструментами конечно-элементного анализа*

#### **Задание граничных условий (ГУ)**

Задание ГУ для всех видов расчета реализовано через контекстные меню в дереве «Конечно-элементный анализ».

Добавлена новая технология контакта - «поверхность – поверхность» для реализации взаимодействия между деталями в сборке.

Реализовано моделирование посадок с натягом. Натяг можно моделировать, не изменяя исходной геометрии деталей, через свойство контактной зоны – «Выравнивание поверхностей». Для этого доступны опции «Добавить смещение» и «Добавить смещение к выравниванию». Величина натяга прикладывается сразу полностью на первом шаге расчета. Величина натяга должна быть существенно меньше размера КЭ.

Добавлена опция «Слабые пружины» для Нелинейного и Динамического расчетов.

Добавлено свойство контактной зоны «Термическое сопротивление», которое позволяет задать значение теплопроводности в зоне контакта деталей.

Реализовано новое граничное условие - «Преднапряжение болтов», предназначенное для работы с твердотельными объектами.

Добавлено отображение цветowych карт значений «Гидростатической нагрузки» и «Переменного давления».

На панели инструментов конечно-элементного анализа переформатирован раздел «Контакты». Он разделен на два раздела: «Контакты» и «Соединения».

### **Вспомогательная геометрия**

Добавлена возможность создания объекта «Путь» по заданной пользователем последовательности точек или ребер модели. Данный объект предназначен для вывода результатов.

### **Автоматизация**

Добавлена возможность настройки используемых единиц измерений.

Добавлен специальный инструментарий «Группы выделений», который позволит формировать наборы геометрии, необходимые пользователю для удобства создания расчетной модели.

Добавлена возможность «Отмены» / «Повтора» команд на базовые операции, касающиеся работы с геометрией модели.

Реализована интеграция с платформой управления расчетами и многокритериальной оптимизации IOSO. Для работы программ в связке необходимо подготовить расчетную модель, параметризовать необходимые ГУ и результаты, а также сгенерировать файл \*.desc, который позволит программе IOSO считать информацию о расчетном проекте, подготовленном в APM Studio.

Команда «Упрощение», позволяющая модифицировать геометрию деталей, теперь доступна в режиме «Конечно-элементный анализ».

Добавлена команда «Разрезание», которая позволит разделить твердотельную деталь на части для создания регулярных КЭ-сеток.

Добавлена команда «Диагностика». Она позволяет найти и при возможности исправить дефекты геометрии на деталях, что положительно скажется на скорости и качестве процесса генерации КЭ-сетки.

### **Генерация КЭ-сетки**

8-ми узловая сетка методом ручного деления на подобласти (протяжка в варианте «One-to-one Sweeping»).

Добавлена возможность группового предразбиения ребер модели (перед генерацией КЭ-сетки).

## **Выполнение расчетов**

Работа со всеми типами расчетов в APM Studio теперь реализована через дерево «Конечно-элементный анализ» - узел «Расчеты».

Запуск всех типов расчетов реализован по контекстному меню непосредственно из дерева «Конечно-элементный анализ».

## **Вывод и анализ результатов**

Для нелинейного статического расчета, динамического расчета и гармонического расчета расширены возможности вывода результатов:

- Добавлены следующие виды типов карт результатов: скорости и ускорения для динамического расчета, а также эквивалентные пластические деформации.
- Реализован вывод зависимости напряжений, перемещений, углов поворота, деформаций, скоростей и ускорений в точках (узлах) конечно-элементной модели изделия от времени / частоты в табличном и графическом виде.
- Реализован вывод зависимости наибольших, наименьших и средних значений напряжений, перемещений, углов поворота, деформаций, скоростей и ускорений от времени / частоты в табличном и графическом виде для отображаемой на карте результатов модели.

Для всех видов расчетов реализован вывод зависимости напряжений, перемещений, углов поворота, деформаций, скоростей и ускорений по заданному пути с различными типами осреднения по элементам.

## **Базы данных**

Начиная с 21 версии, все базы данных, входящие в состав программных продуктов APM WinMachine и APM Civil Engineering, работают под управлением СУБД SQLite.

*Приложение*

### **Перечень объектов формата CDB, импортируемых в 21 версии APM Structure3D**

Реализованы следующие команды:

NBLOCK – блок узлов

EBLOCK – блок элементов

N - узел

R – реальная константа

RMORE – добавление параметров PK

E - элемент

EMORE – дополнительные узлы в элемент

CSYS – система координат

LOCAL – создание локальной системы координат

MP – задание свойств материала

MAT – выбор материала

ET – тип элемента

SECTYPE – выбор типа сечения, реализовано только для балок

SECDATA – задание параметров сечения

SECNUM – выбор сечения

TIME – время нагрузки

SOLVE – задание шага нагрузки и решение

F – сила и момент в узел

D – ограничение степеней свободы

DSYM – задание симметричных ГУ

NSEL — выборка узлов

ESEL — выборка элементов

SELTOL — задание допуска на выбор

ALLSEL — выбор всех объектов

CM — создание компонент

CMBLOCK — блок компонент

CMSEL — выбор компонент

SF — поверхностные нагрузки через узлы

SFE — поверхностные нагрузки через грани элементов.

SFEBLOCK — блок поверхностных нагрузок

Реализованы элементы: SOLID45, SOLID95, SOLID185, SOLID186, SOLID187,  
SHELL181, BEAM188, SOLID285

При подготовке последующих версий расчетных систем линейки «АПМ» планируется проводить работы по совершенствованию интерфейса, алгоритмов и методик расчета, а также расширению существующих возможностей с учетом пожеланий пользователей!

**С уважением и пожеланием успехов в работе,  
коллектив НТЦ «АПМ»**