

## ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ: SMART 3D – TEKLA STRUCTURES - SCAD OFFICE

*И.С. Кукушкин<sup>1</sup>, И.Ю. Любимов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, РОССИЯ

<sup>2</sup> ОАО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново, РОССИЯ

**АННОТАЦИЯ:** Предлагается новая технология проектирования опорных конструкций под оборудование с использованием технологии двусторонней интеграции данных между программными продуктами Intergraph SmartPlant3D, TEKLA Structures и SCAD Office v.21. Реализация технологии основана на способности взаимодействия указанных продуктов, с помощью открытых интерфейсов программирования приложений. Данный подход значительно уменьшает трудозатраты при комплексном проектировании, а также снижает влияние человеческого фактора на процесс повторного создания моделей в различных системах автоматизированного проектирования, позволяет оценить ситуацию и устранить все возможные несоответствия (коллизии) до выпуска документации.

**Ключевые слова:** Smart3D, TEKLA Structures, SCAD Office, LoadsIMP, технология связи, форматы данных, коллизии.

## THE WAYS OF SUPPORT STRUCTURE DESIGN FOR EQUIPMENT AUTOMATION USED FOR COMMUNICATION TECHNOLOGIES: SMART 3D – TEKLA STRUCTURES - SCAD OFFICE

*Igor S. Kukushkin<sup>1</sup>, Igor Yu. Lyubimov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, RUSSIA

<sup>2</sup> Zarubezhenergoprojekt, Ivanovo, RUSSIA

**ABSTRACT:** The article presents new technology of support structure design for equipment using the two-way integration between software products Intergraph SmartPlant3D, TEKLA Structures and SCAD Office v.21. Implementation of this technology is based on interoperability of these products, through open programming interfaces. This approach significantly reduces the effort for complex design, and reduces the impact of human factors on the process of re-creating models in various CAD systems, allows evaluate the situation and eliminate all possible inconsistencies (collisions) before release the documentation.

**Key words:** Smart3D, TEKLA Structures, SCAD Office, LoadsIMP, communication technology, data formats, collisions.

С развитием систем автоматизированного проектирования (САПР) постепенно уменьшается уровень влияния человеческого фактора на выполнение проектов. Развитие технологий проектирования выходит на новый уровень. Одно из направлений развития

САПР является разработка технологии связи различных автоматизированных систем, в результате использования которой исключаются ошибки, разногласия между разноплановыми отделами, занимающимися проектированием определенного объекта. Система

двусторонней интеграции, описанная в статьях [1, 2] подразумевает передачу трехмерной модели между разными САПР с определенными свойствами (геометрия, материалы, профиля). Для передачи дополнительных свойств, таких как нагрузки, как правило используются внешние программы-утилиты или макросы [3].

Сейчас процесс проектирования опорных конструкций под оборудование выглядит следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Стандартный процесс проектирования опорных конструкций.

Исходя из характеристик оборудования отдел технологов формирует техническое задание в которое входят: габариты оборудования, точки подвеса или опирания, спецификация нагрузок, действующих в этих точках. Как правило, задание представляет собой чертеж либо в бумажном, либо в электронном виде. На основе полученного задания отдел строительных конструкций выполняет конструктив будущих опор под обо-

рудования и согласует его с отделом технологов. В такой постановке процесс проектирования имеет большие трудозатраты, связанные с дублированием ряда операций: создание как минимум трех моделей в различных средах – конструктивная модель, расчетная модель, технологическая модель; занесение нагрузок в текущие модели – технологическая модель для выдачи задания, расчетная модель для конструирования. Кроме того, возникают неточности и несоответствия разрабатываемых моделей, проконтролировать которые становится практически невозможным.

Технология связи позволяет оптимизировать процесс проектирования за счет автоматизированной передачи данных между САПР (рис.2).

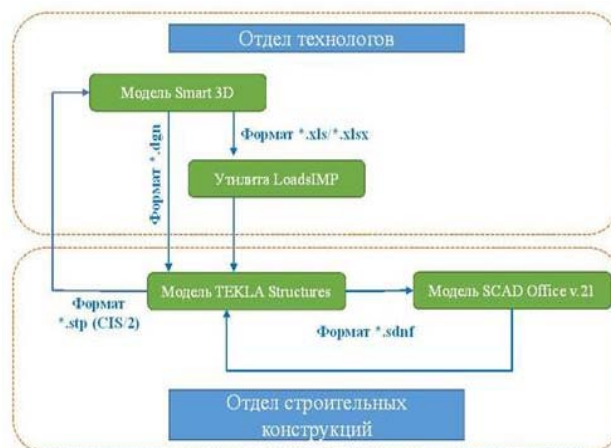


Рис. 2. Предлагаемый процесс проектирования опорных конструкций.

В предлагаемом варианте в качестве задания из модели Smart3D выгружается окружающая обстановка в формате \*.dgn, а также формируется перечень нагрузок в виде excel отчета по определенным правилам [3]. Файл \*.dgn импортируется в ТЕКЛА Structures для определения габаритов оборудования и точек крепления опор (рис. 3). Файл \*.xls/\*xlsx (в зависимости от версии Microsoft Excel) загружается во внешнюю программу-утилиту LoadsIMP.

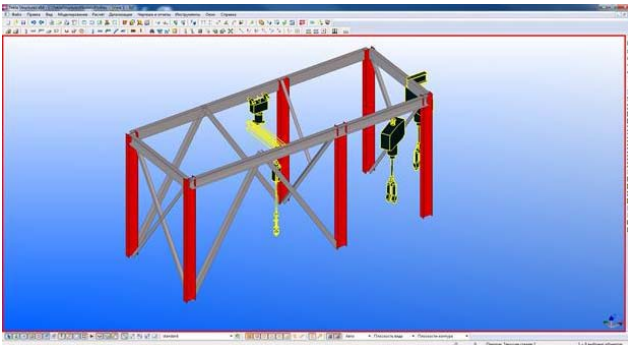


Рис. 3. Модель в TEKLA Structures с импортированным оборудованием в формате \*.dgn.

Данная утилита производит анализ в TEKLA Structures на наличие существующих, повторяющихся и модифицированных нагрузок. А также, в зависимости от указаний пользователя, позволяет добавить, или найти нагрузки в модели (рис. 4).

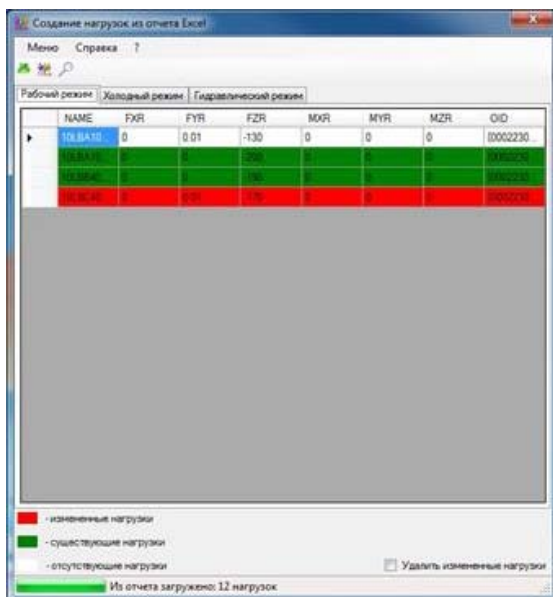


Рис. 4. Диалоговое окно программы – утилиты LoadsIMP.

В полученной модели инженер разрабатывает конструктивное решение опоры и передает ее в расчетный комплекс SCAD Office v.21 в виде расчетной схемы в формате \*.sdf (рис. 5).

В SCAD производят назначение узлов примыкания и приложение соответствующих нагрузок из модели TEKLA Structures.

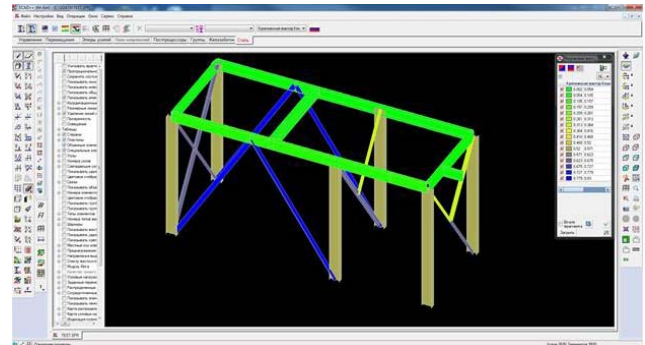


Рис. 5. Импортированная модель в SCAD Office v.21

После чего происходит расчет и подбор сечений элементов опоры. Для определения расчетных комбинаций усилий, действующих в узлах, выполняют расчет от фрагмента схемы.

Модель, с подобранными сечениями возвращается в TEKLA Structures для детализации узлов, а затем в Smart 3D для выявления коллизий (рис. 6). Процесс является итерационным и после окончательной проработки модель возвращается в TEKLA Structures для выпуска проектной и/или рабочей документации.

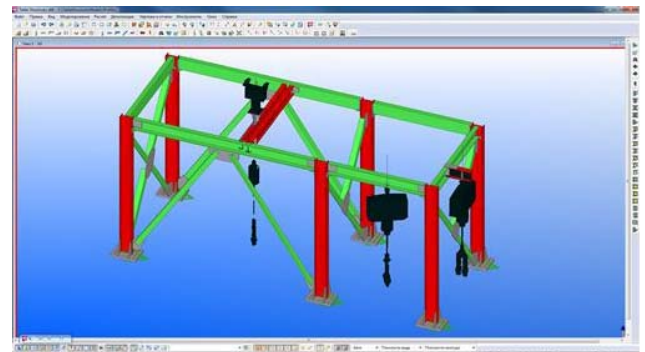


Рис. 6. Модель в TEKLA Structures с проработанными узлами.

В каждом проекте большинство разрабатываемых опорных конструкций являются либо типовыми, либо однотипными. В TEKLA Structures разрабатывается соответствующий набор компонентов готовых конструктивных решений опор и набор шаблонов для автоматизированного выпуска документации, соответствующей стандартам предприятия (рис. 7), что позволяет сократить трудозатраты до

Пути автоматизации проектирования опорных конструкций под оборудование при использовании технологии связи: Smart 3D – Tekla Structures – SCAD Office

50 - 60 % в зависимости от количества типовых конструкций, а также исключить неточности при внесении изменений в документацию.

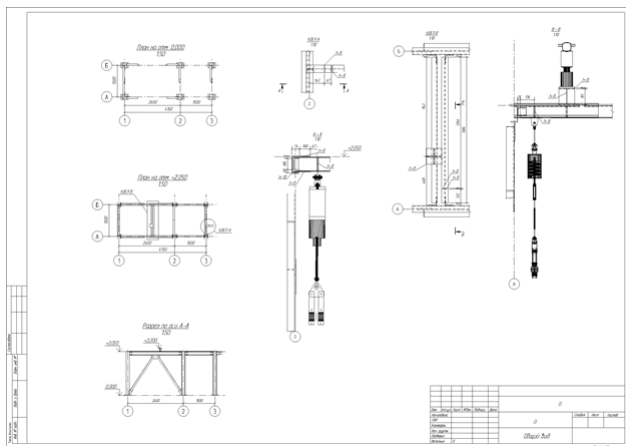


Рис. 7. Автоматизированная выдача графической документации.

Данная технология проектирования опорных конструкций значительно уменьшает влияние человеческого фактора на процесс повторного создания моделей в различных САПР, позволяет значительно снизить трудозатраты, оценить ситуацию и устранить все возможные коллизии до выпуска документации.

Помимо описанного формата \*.sdfn в SCAD Office v.21 реализован режим импорта (экспорта) данных из ряда систем архитектурного проектирования, таких как Graphisoft ArchiCAD, Nemetschek Allplan, Autodesk Revit и др (рис. 8).

#### Импорт (экспорт) \*.dxf, \*.dvg файлов.

Описание геометрии расчетной схемы может быть импортировано из системы AutoCAD или других систем, поддерживающих форматы DWG- или DXF-файлов. Импортируются почти все виды графических примитивов (3DFACE, SOLID, TRACE, LINE, POLYLINE, LWPOLYLINE, ELLIPSE, CIRCLE, ARC).

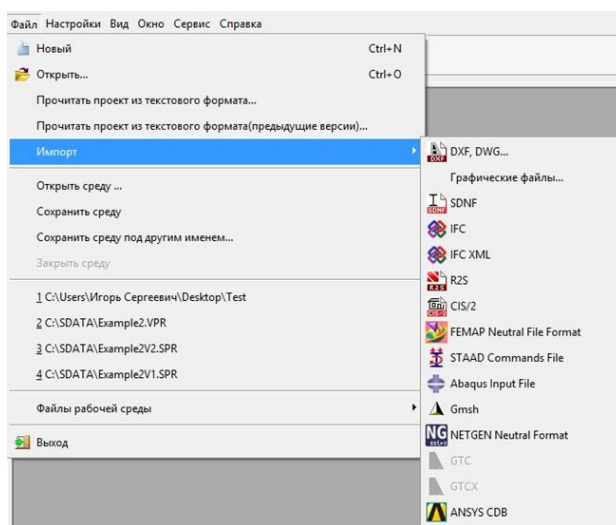


Рис. 8. Форматы импорта (экспорта) данных в BK SCAD Office v.21.

#### Импорт файлов в формате \*.3ds.

В комплексе реализован импорт файлов в формате \*.3ds, что позволяет получить геометрию расчетных схем оболочечных конструкций или их фрагменты. Указанная система может быть с успехом использована для генерации геометрических моделей сложных пересекающихся поверхностей, которые импортируются в SCAD Office в виде трехмерной сетки трехузловых элементов оболочки.

#### Импорт файлов в формате SGI Invector (\*.iv).

Файлы в формате \*.iv обеспечивают передачу в комплекс информации о геометрии трехмерных объектов, состоящих из стержней и элементов оболочки.

#### Импорт файлов в формате WaveFront Advanced Visualizer.

Файлы этого типа используются приложением Advanced Visualizer для хранения информации о трехмерных геометрических объектах. В комплекс передаются данные о стержнях и элементах оболочки.

#### Импорт (экспорт) файлов в формате \*.ifc.

При импорте файлов формата IFC реализована поддержка форматов версий 2x3, 2x4 как в текстовом виде, так и в формате XML. Для узлов импортируются данные о координатах и наложенных связях. Для стержневых

элементов передаются данные о геометрии (координаты начала и конца), ориентации местных осей, шарнирах и параметрах поперечного сечения. У стержневого элемента может быть несколько представлений: геометрическое и аналитическое, предпочтение всегда отдается аналитическому. Реализована поддержка двух видов сечений: параметрические и сечения в виде полигонов; последние реализуются в виде поперечного сечения, созданного программой Консул. Для пластинчатых элементов передаются данные о геометрии (включая данные об отверстиях) и толщине.

Импорт (экспорт) файлов в формате CIS/2 (\*.stp). Импорт формата CIS/2 реализован с помощью конвертации файла данного формата в файл формата IFC и последующим импортом IFC-файла. Поэтому все ограничения, связанные с IFC-форматом применимы и к формату CIS/2 и описаны выше.

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате GMSH.**

При импорте файлов формата GMSH реализована поддержка как текстового, так и бинарного вида формата; так же, реализована поддержка формата начиная с версии 2.0. Для узлов импортируются данные о координатах. Для всех конечных элементов реализовано чтение списка основных и дополнительных узлов, принадлежащих этим элементам.

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате GTC.**

При импорте файлов формата GTC или GTCX используется библиотека GraitecExchangeModel фирмы Graitec. Чтобы использовать возможность импорта файлов GTC или GTCX формата, на компьютере пользователя должны быть установлены соответствующие продукты компании Graitec (AdvanceSteel и/или AdvanceConcrete).

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате FNFF (FEMAP).**

При импорте файлов формата FNFF (Femap neutral file format) реализовано следующее. Формат не предусматривает возможности задания единиц измерений, поэтому предпо-

лагается, что все данные в системе СИ. Для узлов импортируется информация о координатах и связях. Для стержневых элементов импортируются данные о геометрии (номера начального и конечного узла), ориентации местных осей, шарнирах, жестких вставках, свойствах материала, параметрах поперечного сечения. В случае параметрического сечения передаются его размеры. В ином случае передаются лишь площадь и моменты инерции  $IY$  и  $IZ$ , исходя из этих данных, в SCAD Office производится подбор подходящего сечения и металлопроката. Для пластинчатых элементов импортируются данные о геометрии, свойствах материала и толщине. Для объемных элементов импортируются данные о геометрии и свойствах материала. Для упругих связей импортируются данные о геометрии (номера первого и второго узла), ориентации местных осей и жесткости по всем направлениям. Для жестких тел импортируются данные об узлах и наложенных связях. Для всех видов нагрузок, кроме нагрузок на узлы, передаются только силы, моменты не предусмотрены форматом.

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате STAAD.**

При импорте файлов формата STAAD реализована передача следующих данных. Для узлов передаются их координаты и связи. Для стержневых элементов передается информация о геометрии (номера начального и конечного узла), ориентации местных осей, жестких вставках и шарнирах, физических свойствах материала, параметрах поперечного сечения. Для пластинчатых элементов импортируется информация о геометрии (номера узлов), толщина и данные о материале. Для объемных элементов импортируются данные о геометрии (номера узлов) и свойствах материала. Для абсолютно жестких тел импортируются данные о геометрии (номера узлов) и наложенных связях. Для поперечных сечений стержней передается информация о параметрических сечениях и профилях металлопроката. При импорте сечений металлопроката используется список

соответствий между профилями из сортамента SCAD Office и STAAD.

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате ABAQUS.**

При импорте файлов формата Abaqus input file реализовано следующее. Для узлов импортируются координаты и связи. Для стрележневых элементов импортируются данные о геометрии (номер начального и конечного узлов), ориентации местных осей, материале, шарнирах, жестких вставках (через эксцентриситеты сечений), параметрах поперечного сечения. Формат предоставляет возможность задания 3-х узловых стержней. Если средний узел не используется другими элементами, то он игнорируется, если же используется, то стержень разбивается на два. Для пластинчатых элементов импортируются данные о геометрии, материале, толщине и дополнительных узлах. Для объемных элементов импортируются данные о геометрии, материале и дополнительных узлах. Для абсолютно жестких тел импортируются данные о геометрии (список узлов) и наложенных связях. Для упругих связей импортируются данные о геометрии (один или два узла в зависимости от типа связи) и жесткостных параметрах. Для коэффициентов упругого основания передаются данные о коэффициенте  $C_1$ , в случае стержней этот параметр назначается для местной оси Z. Импортируются группы узлов и элементов.

#### **Импорт (экспорт) файлов в формате ANSYS CDB.**

При импорте файлов формата ANSYS CDB реализована передача следующих данных. Для узлов передаются их координаты и наложенные связи. Для стрележневых элементов импортируются данные о геометрии (номера узлов), ориентации местных осей, материале, жестких вставках (через эксцентриситет сечений), сечениях. Формат предоставляет возможность задания 3-х узловых стержней. Если средний узел не используется другими элементами, то он игнорируется, если же используется, то стержень разбивается на два. Для пластинчатых элементов

импортируется информация о геометрии (номера узлов), толщина и данные о материале. Для объемных элементов импортируются данные о геометрии (номера узлов) и свойствах материала. Для абсолютно жестких тел импортируются данные о геометрии (номера узлов). Для упругих связей импортируются данные о геометрии (номера узлов). Для динамических воздействий импортируются массы и моменты инерции для узлов. Для загружений реализован импорт различных типов нагрузок.

Исходя из насыщенного перечня форматов, которые поддерживает вычислительный комплекс SCAD Office v.21, его по праву можно назвать «дружелюбным» программным продуктом, а в технологиях информационного моделирования объектов строительства (BIM), основанных на двусторонней интеграции между САПР, SCAD Office v.21 занимает лидирующие позиции, как программный продукт для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Кукушкин И.С.** Реализация двусторонней связи между программными комплексами Tekla Structures и SCAD Office v.21 // Промышленное и гражданское строительство 2014. №9. г. Москва. 2014г. С. 57-59
2. **Кукушкин И.С., Любимов И.Ю.** Современные методы проектирования объектов при использовании технологии связи SP3D-TEKLA Structures-Расчетный САПР // Сфера. Нефть и газ №1(39). г. Москва. 2014г. С. 76-77.
3. **Кукушкин И.С., Любимов И.Ю., Письмеров К.А.** Пути автоматизации процесса передачи нагрузок в TEKLA Structures при проектировании промышленных объектов // САПР и графика №12. г. Москва. 2014г. С. 2-3.

---

Кукушкин Игорь Сергеевич, специалист по САПР в строительстве, аспирант Ивановского государственного политехнического университета, ассистент кафедры «Строительные конструкции»; 153037, Иваново, ул. 8 Марта, дом 20; тел.: +7(920)675-70-79; e-mail: i.kukushkin@ivanovo.csoft.ru

Любимов Игорь Юрьевич, инженер первой категории ОАО «Зарубежэнергопроект»; 153034, Россия, г. Иваново, ул. Смирнова, д. 105Б; тел.: +7(920)345-65-25; e-mail: formozas31@mail.ru

Igor S. Kukushkin, Specialist CAD in construction, graduate student of Ivanovo State Polytechnic University, assistant of the Department "building Construction"; phone.: +7(920)675-70-79; 20, Ul. 8 Marta, Ivanovo, 153037, Russia e-mail: i.kukushkin@ivanovo.csoft.ru

Igor Yu. Lyubimov, The engineer 1-st categories of Zarubezhenergoproekt; 105 B, Smirnov St., Ivanovo, Russia 153034; phone.: +7(920)345-65-25; e-mail: formozas31@mail.ru