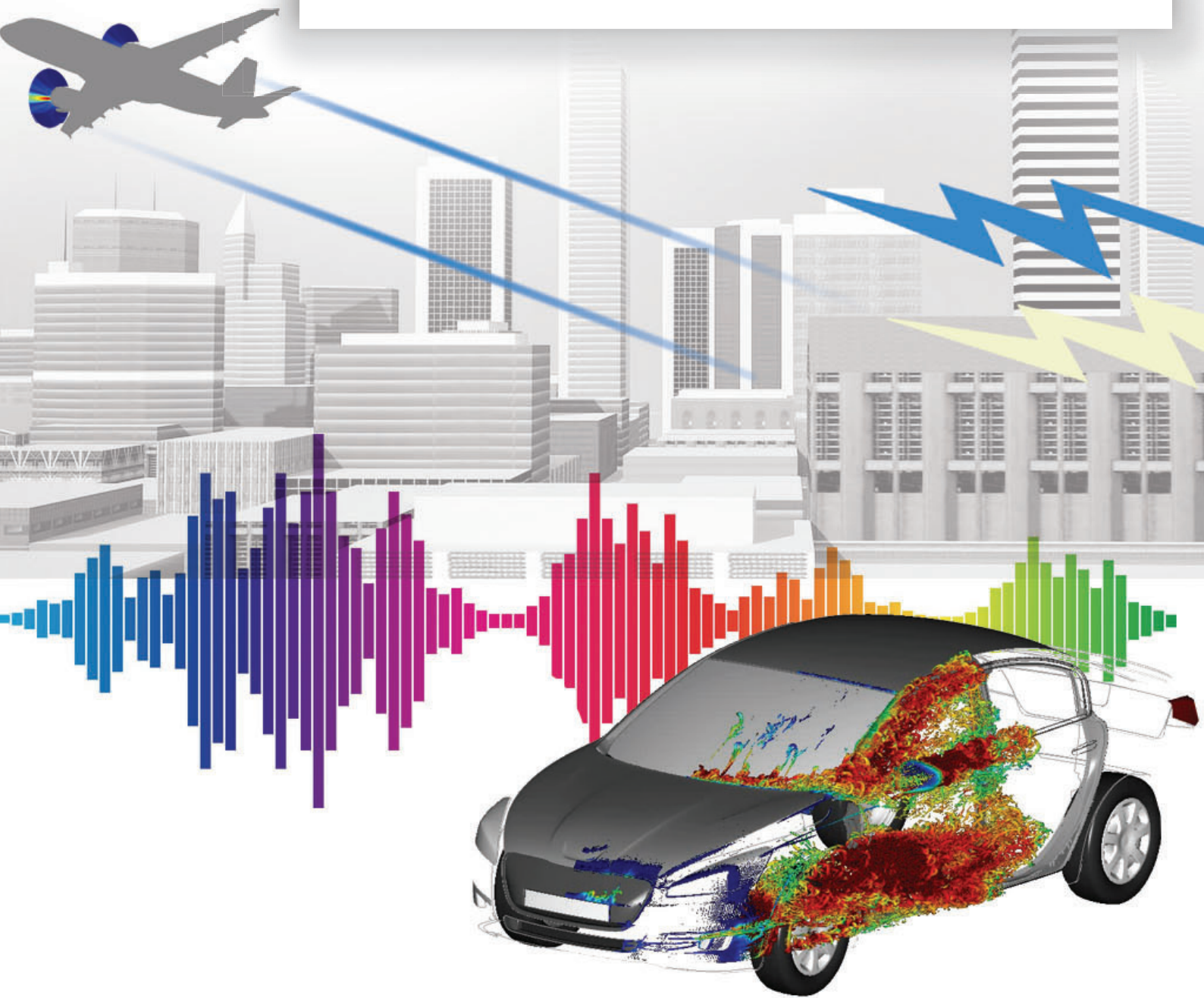


ЖУРНАЛ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ В ОБЛАСТИ САПР



■ ПЛАТФОРМЫ САПР ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА NANOCAD ■ МАШИНОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ■ TECHNOLOGICS 7.9 – ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ■ ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ЛИТЬЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ: НОВАЯ ВЕРСИЯ MOLDEX3D 2020 ■ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ CADLIV МОДЕЛЬ И АРХИВ ■ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 9 ПРИМЕРОВ, КОГДА ARCHICAD ПОМОГ ИЗБЕЖАТЬ ПРОБЛЕМ ■ ЗНАКОМЬТЕСЬ: ТАБЛИЦЫ СПДС ■ ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО С NANOCAD КОНСТРУКТОРСКИЙ ВМ. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ■ 3D-ПРИНТЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛАМИ





Конкурс «Лучший в машиностроении»

Проектируете в nanoCAD Механика?
Получите приз!

У вас уже есть готовый проект, выполненный в nanoCAD Механика? Или вы готовы спроектировать 3D-модель или написать отзыв на эту программу?

Участвуйте и выигрывайте ценные призы:

- Часы Apple Watch
- Наушники Apple AirPods
- Яндекс.Станция мини*

Номинации:

- Лучший учебный проект
- Лучший профессиональный проект
- Лучший обзор
- Лучшее пожелание по развитию продукта

В каждой номинации победитель получит локальную годовую лицензию nanoCAD Plus с модулями nanoCAD Механика и «3D-моделирование и зависимости». Компании получат возможность приобрести лицензии на платформу и указанные модули на специальных условиях.

*С полными условиями конкурса можно ознакомиться на сайте nanocad.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

■ ...и это интересно!

2

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

■ Платформы САПР

Дополнительные средства папoCAD 4

■ Образование и повышение квалификации

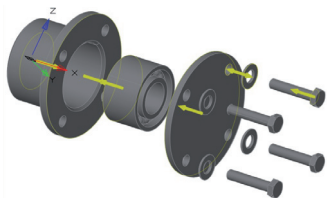
118 обучающих уроков для проектировщиков. Как это было 10

■ Машиностроение

Решение Teamcenter Rapid Start помогло изготовителю промышленного оборудования сократить сроки проектирования на 25% 12

Моделирование процессов кристаллизации и структурообразования прокатного валка из заэвтектоидной стали 15

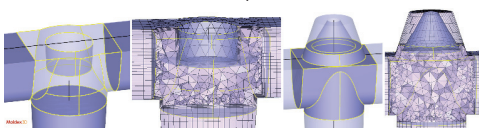
Параметризованное 3D-моделирование подшипникового стакана в папoCAD Plus 20 20



Создание 3D-модели детали на основе чертежа в формате PDF 30

TechnologiCS 7.9 – цифровизация всего жизненного цикла продукции на базе одной системы 34

Инженерные расчеты литья термопластов под давлением: новая версия Moldex3D 2020 40



Анализ акустики, виброакустики и аэроакустики с применением системы Actran. Обзор основных возможностей 46

Просто о нелинейном анализе методом конечных элементов. На примере кронштейна 52

Автоматизация проектирования с помощью модуля DriveWorks 59

■ Электроника и электротехника

Технология математического моделирования и виртуализации испытаний электронной компонентной базы и электронной аппаратуры на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла с помощью системы АСОНИКА 62

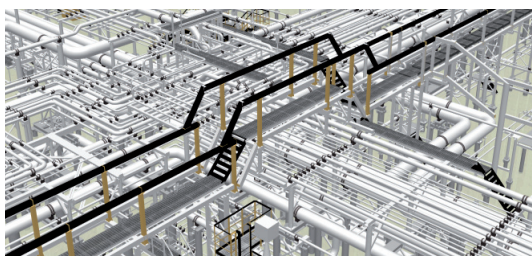
■ Изыскания, генплан и транспорт

Проектирование и строительство автомобильного моста в порту Телук Ламонг 68

■ Проектирование промышленных объектов

CADLib Модель и Архив 70

Гипротюменнефтегаз 76



■ Архитектура и строительство

9 примеров, когда Archicad помог избежать проблем Archicad 23 + Twinmotion: визуализация в режиме реального времени 78

Знакомьтесь: таблицы СПДС 89

Децентрализованное теплоснабжение. Приоритетные направления развития. Проблемы внедрения 92

Первое знакомство с папoCAD Конструкторский BIM. Параметрические объекты 98

Создание параметрических объектов в программе папoCAD Конструкторский BIM 106

Совместное предприятие CVB JV реализует крупнейший в Великобритании проект водной инфраструктуры 115

Утилиты папoCAD СПДС. Найти и заменить текст 118

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

■ 3D-принтеры

Технологическая подготовка производства для 3D-печати металлами 120



Главный редактор
Ольга Казначеева

Литературные редакторы
Сергей Петропавлов,
Геннадий Прибытко

Дизайн и верстка
Марина Садыкова

Адрес редакции:

117105, Москва,
Варшавское ш., 33
Тел.: (495) 363-6790
Факс: (495) 958-4990

www.cadmater.ru

Журнал зарегистрирован
в Министерстве РФ по
делам печати, телерадио-
вещания и средств мас-
совых коммуникаций

Свидетельство
о регистрации:

ПИ №77-1865
от 10 марта 2000 г.

Учредитель:

ЗАО "ЛИР консалтинг"

Полное или частичное
воспроизведение или
размножение каким бы
то ни было способом ма-
териалов, опубликован-
ных в настоящем изда-
нии, допускается только
с письменного разреше-
ния редакции.

© ЛИР консалтинг.

4

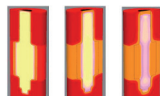
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА nanoCAD



Знакомимся с дополнительными средствами nanoCAD – инструментами, подобными самым популярным и востребованным инструментам Express Tools, реализованным в составе зарубежного аналога.

15

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ



Исследуем вопросы кристаллизации прокатных валков в комбинированной литевой форме. Исследования проводились посредством компьютерного моделирования в программном обеспечении "ПолигонСофт". Процесс выделения твердой фазы в отливке смоделирован с помощью программного комплекса Thermo Calc.

34

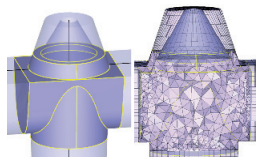
TechnologiCS 7.9 – ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ



Анализируем ранее существовавшие и новые функциональные модули в экосистеме TechnologiCS, которые приближают воплощение концепции "Индустрия 4.0".

40

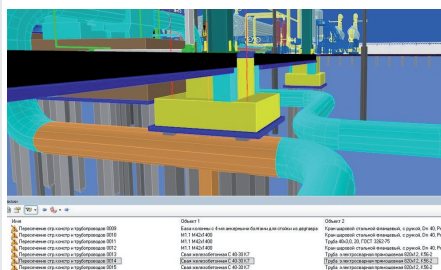
ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ЛИТЬЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ: НОВАЯ ВЕРСИЯ Moldex3D 2020



Исследуем новую версию программного решения Moldex3D, в которой расширены возможности учета влияния факторов конструкции, технологии и материалов на процесс литья, подготовки модели литейного изделия и литейной формы для расчета, задания условий и оценки результатов.

70

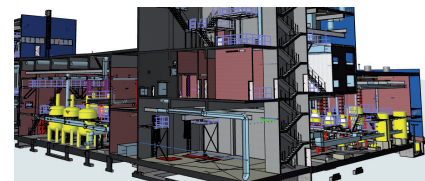
CADlib МОДЕЛЬ И АРХИВ



Представляем информационную систему для поддержки жизненного цикла объектов капитального строительства и технологического оборудования промышленных предприятий.

78

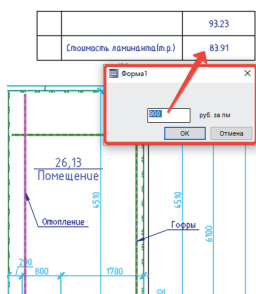
9 ПРИМЕРОВ, КОГДА Archicad ПОМОГ ИЗБЕЖАТЬ ПРОБЛЕМ



Прорабатываем непростые ситуации при подготовке рабочей документации, в решении которых помогли инструменты Archicad. Предложенные примеры тем более интересны, что это реальные случаи из практики проектной организации, специализирующейся на проектировании промышленных объектов.

89

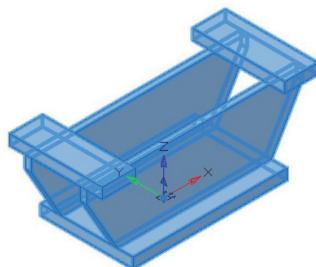
ЗНАКОМЬТЕСЬ: ТАБЛИЦЫ СПДС



Рассматриваем функционал табличного редактора СПДС, реализованный в программных продуктах СПДС GraphiCS на графической платформе AutoCAD и nanoCAD СПДС на графической платформе nanoCAD Plus.

106

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО с nanoCAD Конструкторский BIM. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ



Разбираем одну из возможностей комплекса nanoCAD Конструкторский BIM: разработку параметрических узлов соединения металлоконструкций.

120

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛАМИ



Решаем основные задачи, связанные с подготовкой к безопасному и эффективному производству высококачественных металлических деталей средствами 3D-печати.



GRAPHISOFT Archicad®

СОЗДАВАЙТЕ ВЕЛИКОЛЕПНУЮ АРХИТЕКТУРУ!

Archicad® 24. Версия объединяет архитекторов и инженеров в универсальной рабочей среде BIMcloud, идеально подходящей для координации и совместной работы над проектами. Прозрачный обмен информацией повышает уровень взаимного доверия участников проектирования и избавляет архитекторов и инженеров от ненужного дублирования моделей.

24

Информация об Archicad®, контакты дилеров, консультации по лицензированию: +7 (495) 645-8626, graphisoft.com/ru, openbim.ru.

 **NANOSOFT**
DISTRIBUTION

АО «Нанософт» – официальный дистрибьютор GRAPHISOFT®.



➤ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА nanoCAD

Дополнительные средства nanoCAD – это инструменты, подобные самым популярным и востребованным инструментам Express Tools, реализованным в составе зарубежного аналога. Отличительной особенностью этих утилит в nanoCAD является то, что они устанавливаются по умолчанию, тогда как пользователю зарубежного решения приходится контролировать их появление в интерфейсе программы при инсталляции. Набор дополнительных средств включает в себя 10 наиболее часто используемых утилит. Далее мы рассмотрим функционал каждой из них и приведем примеры работы.

В классическом интерфейсе nanoCAD дополнительные средства расположены в меню *Редактирование* → *Дополнительные средства* (рис. 1). В ленточном они распределены по разным

группам в зависимости от объектов, с которыми работает та или иная утилита (см. табл. 1).

Таблица 1. Расположение дополнительных средств nanoCAD в ленточном интерфейсе

Утилита дополнительных средств nanoCAD	Группа	Вкладка
Преобразовать атрибуты блока в текст	Блок	Главная
Конвертировать Текст в Мтекст	Текст	Оформление
Выворачивать текст		
Изменить регистр текста		
Растянуть/сжать текст		
Разбить текст		
Упростить сплайн	Редактирование	Построение
Разбить геометрию	Разбивка/ Удаление	Построение
Разбивка прокси-объектов		
Удаление прокси-объектов		

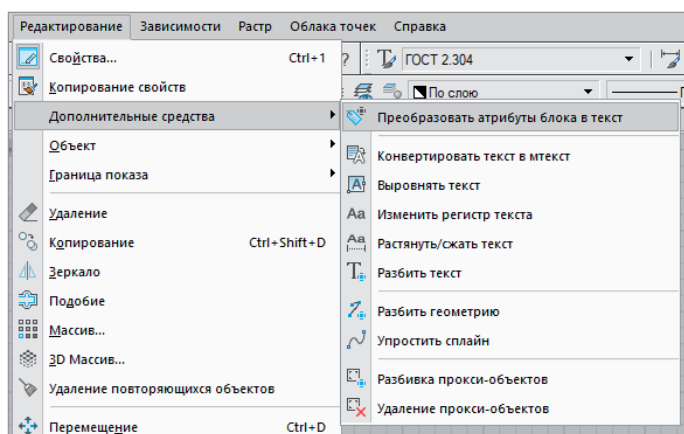


Рис. 1. Расположение дополнительных средств nanoCAD в классическом интерфейсе



Выравнивание текста

Командная строка: *ТЕКСТВИР (TJUST)*

Команда позволяет изменить точки выравнивания для текстового объекта без перемещения текста.

Порядок выполнения команды:

- выберите текстовый объект (рис. 8);

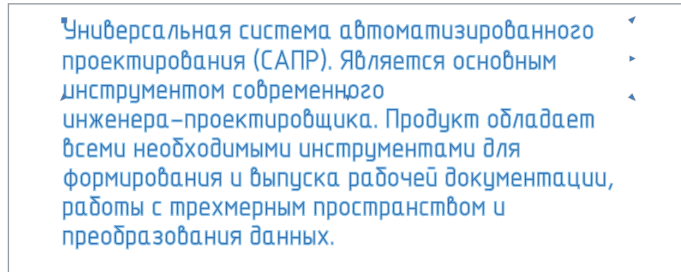


Рис. 8. Выбранный Мтекст

- запустите команду *Выровнять текст* и выберите в командной строке или контекстном меню нужный метод выравнивания (рис. 9).

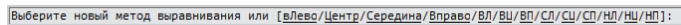


Рис. 9. Опции выравнивания текста в командной строке

Примеры выравнивания показаны на рис. 10 и 11.

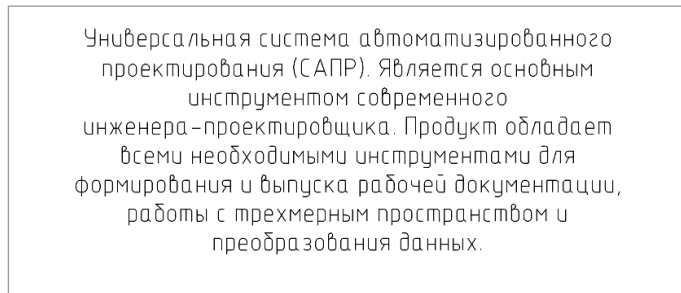


Рис. 10. Пример выравнивания многострочного текста по верхнему краю и центрирования по горизонтали (ВЦ)

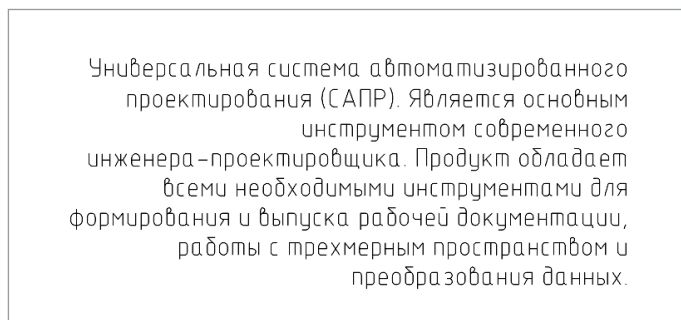


Рис. 11. Пример выравнивания многострочного текста по верхнему и правому краям (ВП)

Изменение регистра текста

Командная строка: *ТРЕГИСТР (TCASE)*

Команда позволяет редактировать регистр слов, предложений и абзацев выделенного текста.

Порядок выполнения команды:

- выделите фрагмент текста (рис. 12);

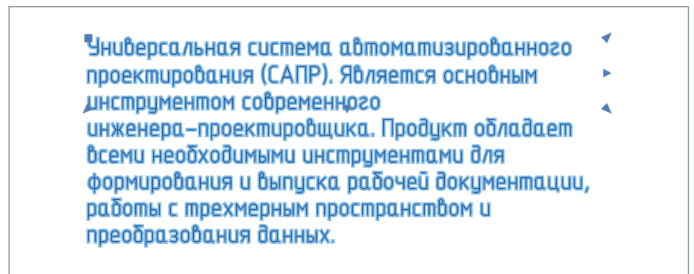


Рис. 12. Выделенный многострочный текст

- запустите команду *Изменить регистр текста* и установите нужный параметр в окне *Регистр текста* (рис. 13). Нажмите *ОК*.

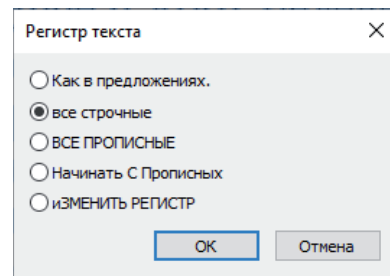


Рис. 13. Диалоговое окно *Регистр текста*

Результат выполнения команды показан на рис. 14.

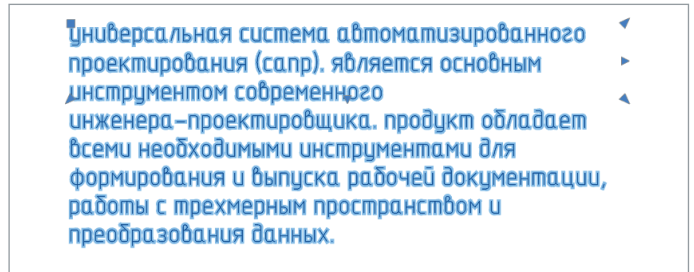


Рис. 14. Многострочный текст с установленным регистром

Параметры окна *Регистр окна* см. в табл. 2.

Таблица 2. Параметры окна *Регистр окна*

Как в предложениях	Сделать прописной первую букву предложения.
Все строчные	Сделать все буквы строчными.
ВСЕ ПРОПИСНЫЕ	Сделать все буквы прописными.
Начинать с Прописных	Сделать прописной первую букву каждого слова, оставив остальные буквы строчными.
ИЗМЕНИТЬ РЕГИСТР	Переключиться между двумя регистрами (например, ИЗМЕНИТЬ и Изменить).

Растягивание или сжатие текста

Командная строка: *ТЕКСТРАСТ (TEXTFIT)*

Команда позволяет растягивать или сжимать однострочный текст с возможностью его перемещения.

Порядок выполнения команды:

- запустите команду;
- выберите текстовый объект. При выборе объекта автоматически схватывается начальная точка (рис. 15);



Рис. 15. Выделенный текст

- укажите вторую точку на экране. Текст либо автоматически вписывается в указанные границы, либо растягивается (рис. 16).

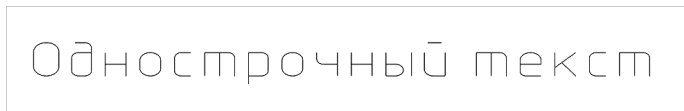


Рис. 16. Растянутый текст

Разбивка текста

Командная строка: *ТЕКСТРАЗБ (EXPLODETEXT, TXTEXP)*

Команда позволяет разбить текстовые объекты на отдельные составляющие (отрезки, полилинии). В процессе ее выполнения можно произвести настройку параметров как для результатов разбивки, так и для исходных объектов. Применение команды к предварительно выбранным текстовым объектам производит разбивку в соответствии с ранее установленными (или действующими по умолчанию) настройками.

Порядок выполнения команды:

- выберите текстовый объект (рис. 17);



Рис. 17. Выделенный текст

- запустите команду *Разбивка текста*. В результате вы получите текст в виде отрезков и полилиний (рис. 18).



Рис. 18. Разбитый текст

При запуске команды без выделения текста параметры исходных объектов и элементов разбивки можно настроить в контекстном меню или в командной строке (рис. 19).

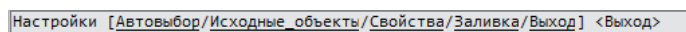


Рис. 19. Опции команды *Разбивка текста*

Разбить геометрию

Командная строка: *ГЕОМРАЗБ (EXPLODEGEOMETRY)*

Команда *Разбить геометрию*, в отличие от команды *Разбивка (EXPLODE)*, выполняет разделение сложных объектов на примитивы по всей глубине уровней вложенности. Например, несколько вложенных блоков она сразу разобьет на составляющие их отрезки, дуги, полилинии — без необходимости многократного вызова команды.

Порядок выполнения команды:

- выберите объект (рис. 20);

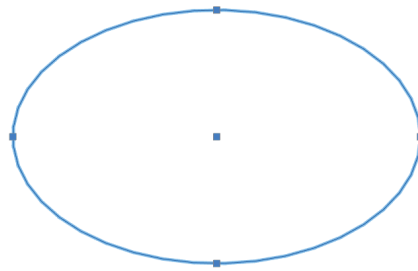


Рис. 20. Выбранный объект

- вызовите команду *Разбить геометрию*. Объект "эллипс" будет преобразован в 2D-полилинию (рис. 21).

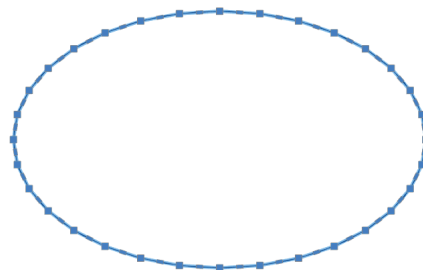


Рис. 21. 2D-полилиния в форме эллипса

Упростить сплайн

Командная строка: *СПЛАЙНУПР (SIMPLIFYSPLINE)*

Команда позволяет оптимизировать сплайн путем управления точностью его аппроксимации и задания максимального количества точек.

Порядок выполнения команды:

- выберите сплайн (рис. 22);

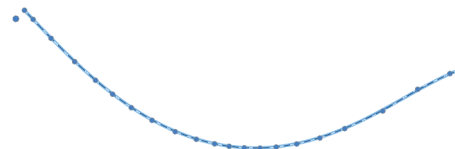


Рис. 22. Выбранный сплайн

- вызовите команду *Упростить сплайн*;
- в командной строке укажите точность и максимальное количество точек (рис. 23);

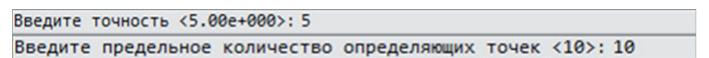


Рис. 23. Запросы в командной строке для команды *Упростить сплайн*

- нажмите *Enter*.

Результат выполнения команды показан на рис. 24.

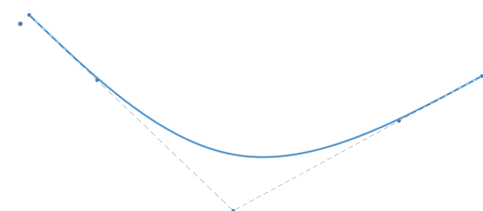


Рис. 24. Упрощенный сплайн



Разбивка прокси-объектов

Командная строка: РЗБПРОКСИ (XPROXY)

Команда предназначена для разбивки прокси-объектов, имеющих графическое представление, на обычные объекты. Допускается предварительный выбор объектов.

Порядок выполнения команды:

- вызовите команду *Разбивка прокси-объектов*.

При отсутствии выбранных объектов команда выведет запрос (рис. 25).

Выбор объектов или [?/Чертеж]:

Рис. 25. Запрос в командной строке для команды *Разбивка прокси-объектов*

В ответ можно выбрать объекты или указать опцию. Опция *Чертеж* предназначена для выбора в чертеже всех прокси-объектов с графикой, включая объекты на других закладках чертежа, выбрать которые другим способом невозможно. После указания этой опции система выполнит разбивку и сообщит о результатах (рис. 28).

На рис. 26 показаны выбранные прокси-объекты.

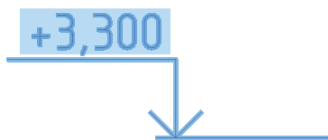


Рис. 26. Выбранный прокси-объект

После выполнения команды прокси-объект принимает вид, представленный на рис. 27.

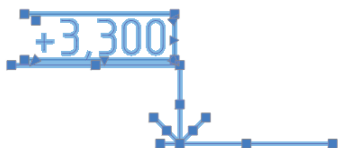


Рис. 27. Разбитый прокси-объект

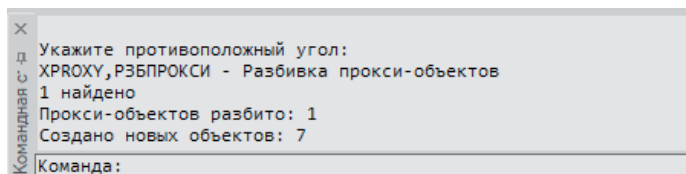


Рис. 28. Сведения о работе команды *Разбивка прокси-объектов*

Все прокси-объекты разбиваются на примитивы.

Удаление прокси-объектов

Командная строка: УДЛПРОКСИ (RMPROXY)

Команда предназначена для удаления прокси-объектов. Допускается предварительный выбор объектов.

Порядок выполнения команды:

- запустите команду *Удаление прокси-объектов*;
- выберите прокси-объекты.

При отсутствии выбранных объектов команда выведет запрос (рис. 29).

Выбор объектов или [?/Чертеж/Неграфическиепрокси]:

Рис. 29. Запрос в командной строке для команды *Удаление прокси-объектов*

В ответ можно выбрать объекты или указать нужную опцию. Опция ? выводит запрос о смене метода выбора объектов (рис. 30).

Выберите опцию или [Рамка/Последний/Секрэмка/БОКС/Все/Линия/Р/Н-угол/С/Н-угол/Группа/Добавить/Исключить/Текущий/Авто]:

Рис. 30. Опции метода выбора объектов

Опция *Чертеж* служит для выбора и удаления в чертеже всех прокси-объектов, включая объекты на других закладках чертежа.

Опция *Неграфические прокси* предназначена для удаления только прокси-объектов без графики, выбрать которые другим способом невозможно.

При указании нужной опции система выполнит удаление, сообщив о числе найденных и удаленных прокси-объектов (рис. 31).

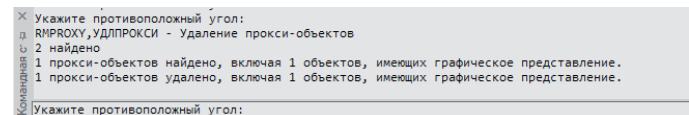


Рис. 31. Сведения о работе команды *Удаление прокси-объектов*

Пример выполнения команды показан на рис. 32 и 33.

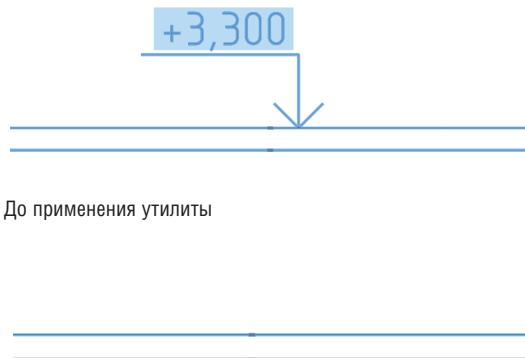


Рис. 32. До применения утилиты

Рис. 33. После применения утилиты

Заключение

Дополнительные средства nanoCAD представляют собой утилиты для управления чертежом и его редактирования. Все они отличаются эффективностью и несложным алгоритмом использования. На форуме nanoCAD¹ пользователям предоставлена возможность обсудить существующий функционал nanoCAD и при необходимости предложить новый. Переходите по ссылке² и в течение 30 дней бесплатно тестируйте nanoCAD Pro с максимальным количеством модулей и возможностей.

Татьяна Васкина,
технический специалист
АО "Нанософт"
E-mail: vaskina@nanocad.ru



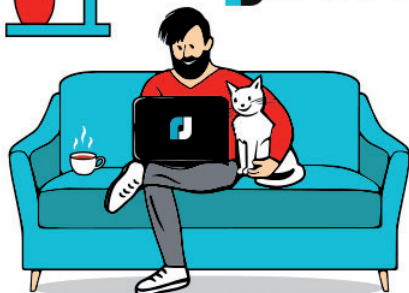
¹ <https://forum.nanocad.ru/?ct=1593538448>.

² <https://www.nanocad.ru/products/nanocad-pro/download>.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА NANOCAD

Инструменты Express Tools
установлены по умолчанию





ИНЖЕНЕРНАЯ
ONLINE-ШКОЛА



➤ 118 ОБУЧАЮЩИХ УРОКОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ. КАК ЭТО БЫЛО

Согласитесь, что весна 2020 была довольно интересным временем. В марте большая часть инженерного мира осталась дома на самоизоляции. Пока все проживали стадии "отрицание-страх-гнев-принятие", мы в "Нанософт" подумали, что мы можем сделать для наших пользователей. А затем собрали команду наших продавцов, провели мозговой штурм и буквально за неделю запустили Инженерную online-школу. Мы среагировали первыми.

Использовали ресурсы с пользой для общества

Сначала мы взяли флагманские продукты "Нанософт". Наша школа проводила два урока в день. Спустя неделю, увидев огромный интерес аудитории, мы подключили все остальные продукты портфеля "Нанософт". Количество курсов увеличилось втрое, а число ежедневных online-лекций возросло до четырех. Мы провели обучение по всей линейке nanoCAD, Solid Edge®, Archicad®, PADS Professional, Femap®, Model Studio CS, CADLib, Spotlight, PlanTracer Pro. По

окончании курсов nanoCAD слушатели получили сертификаты участников.

Мастер-классы на высоком уровне

В основе курсов лежали тест-драйвы, по которым наши технические специалисты успешно проводят обучение в компаниях, а также в авторизованных учебных центрах. Вскоре они дополнились

авторскими курсами руководителей направлений. Так, например, технический директор "Нанософт" Денис Ожигин разработал на базе конструкторской модели серию уроков, посвященных моделированию, специфицированию, документированию и совместной работе в едином комплексе nanoCAD Конструкторский BIM + CADLib (рис. 1).

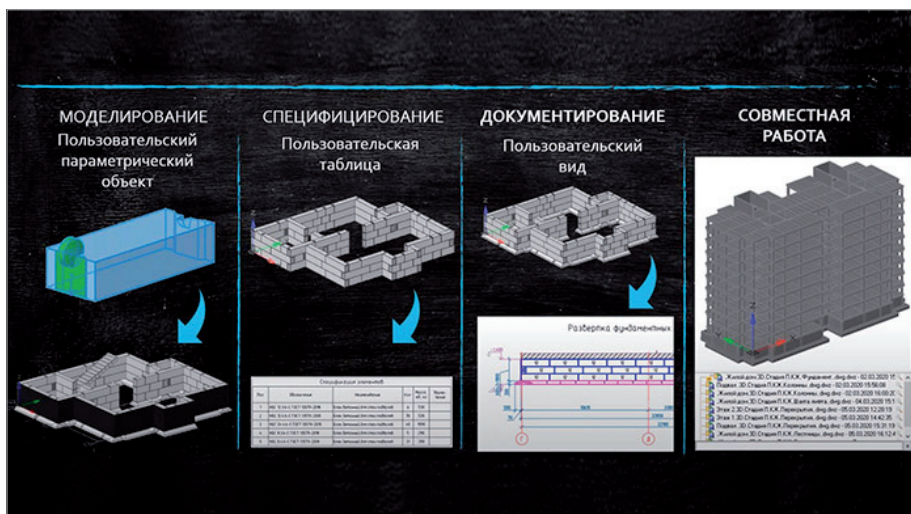


Рис. 1



Рис. 2

Денис Ожигин и BIM-менеджер Виталина Балашенкова показали в режиме реального времени открытое информационное моделирование в связке "архитектор – конструктор": продемонстрировали обмен данными между смежными специалистами посредством облачного хранилища, совместную настройку BIM-модели по требованиям заказчика и др. Алексей Гепта, руководитель проекта nanoCAD Машиностроение, выступил с серией 40-минутных уроков по основным инструментам 2D- и 3D-моделирования в nanoCAD.

Лидерами просмотров на YouTube стали вебинары по nanoCAD Электро и nanoCAD ОПС. Это лекции руководителей проектов Дмитрия Щурова "nanoCAD Электро. Электротехнические расчеты. Разложим всё по полочкам" и Максима Бадаева "nanoCAD ОПС. Проектирование пожарной сигнализации" (рис. 2). Кстати, авторитетный портал проектировщиков RUBEZH недавно провел интересный опрос "А в чем проектируешь ты?" Согласно рейтингу портала, третье место среди самых популярных программ занимает специализированное решение для про-

ектирования слаботочных систем nanoCAD ОПС.

Параллельно с запуском школы мы решили поддержать бизнес и упростить возможность работы из дома, бесплатно предоставив своим действующим клиентам лицензии nanoCAD для удаленной работы. А все новые пользователи могли на месяц скачать полнофункциональную оценочную версию. В дальнейшем мы по запросу продлевали действие оценочной лицензии до конца самоизоляции.

Инженерная школа обросла личными историями. Пользователи делились впечатлениями и оставляли отзывы в соцсетях (рис. 3).

Инженерная online-школа "Нанософт" в цифрах

- 2,5 месяца непрерывной работы;
- 118 online-уроков по ведущим САПР-системам;
- 29 профессиональных спикеров;
- 26 программных продуктов;
- более 12 000 слушателей.

Изучайте сегодня самостоятельно

Сегодня все видеоуроки с курсами компании "Нанософт" находятся в открытом

доступе на нашем YouTube-канале и на сайте <https://online.nanocad.ru>. Это лекции для специалистов разного уровня подготовки и разных направлений проектирования. Выбирайте курс по душе и прикладной специальности и обучайтесь самостоятельно.

А если вам нужно прокачать навыки с опытным инструктором, обращайтесь в наши учебные центры nanoCAD.

Выводы

Опыт Инженерной школы показал, что online-обучение эффективно и востребовано. Тысячи инженеров и проектировщиков смогли прокачать свои навыки и повысить свою ценность как специалистов. В свою очередь команда "Нанософт" сплотилась, мы смогли оперативно адаптировать материалы и проявили гибкость в сложный для отрасли, да и для всего мира, период.

По материалам АО "Нанософт"

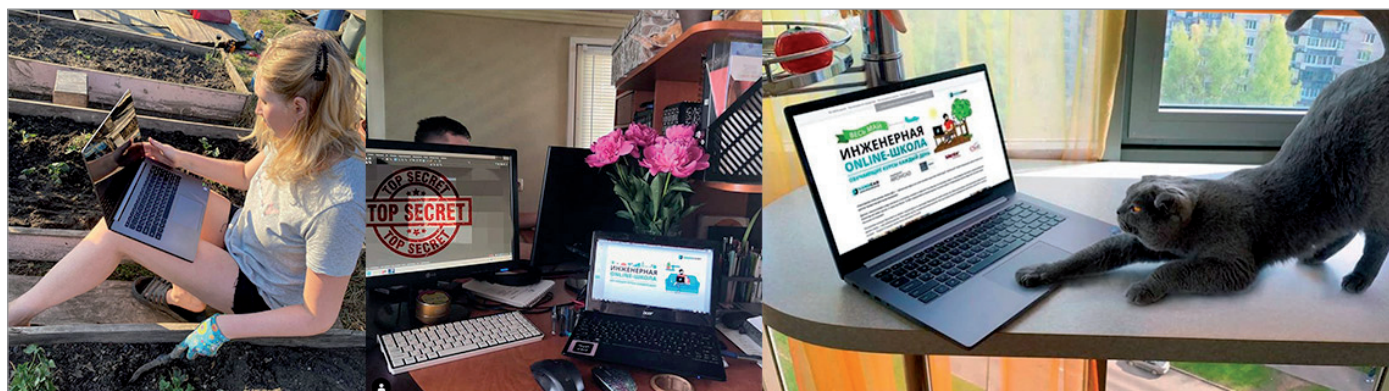


Рис. 3



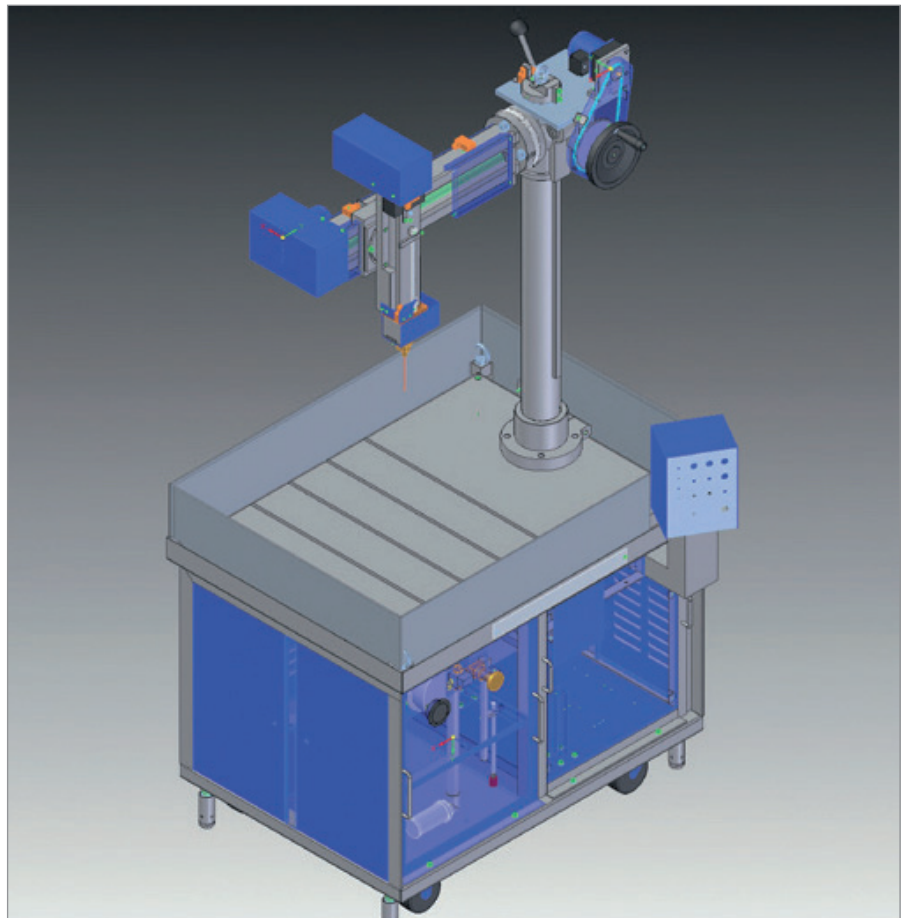
➤ РЕШЕНИЕ TEAMCENTER RAPID START ПОМОГЛО ИЗГОТОВИТЕЛЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СОКРАТИТЬ СРОКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА 25%

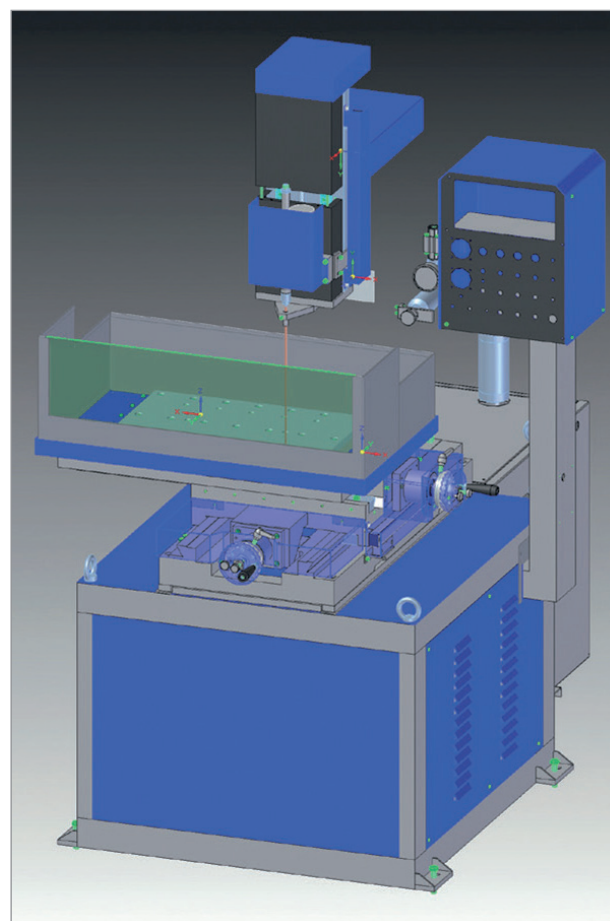
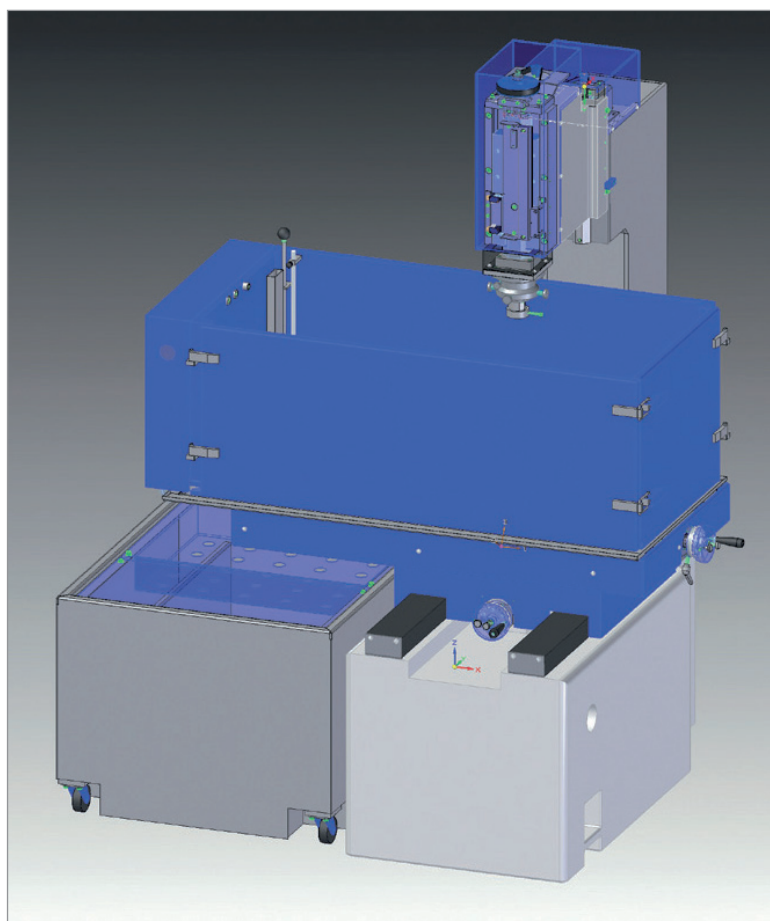
Компания Sparkonix быстро внедрила PDM-систему, позволившую конструкторам существенно сократить затраты времени на поиск, хранение и извлечение данных.

Эффективное применение информации

Основанная в 1968 году компания Sparkonix India Private Limited (Sparkonix) — ведущий изготовитель и экспортер оборудования для электроэрозионной обработки. Компания также выпускает специальные станки для электроэрозионного сверления и оборудование для электроискрового удаления сломанных сверл и метчиков. Кроме того, ее специалисты разработали целую линейку инновационных решений в сфере строительных технологий, включая новые процессы изготовления и укладки арматуры. Станки Sparkonix обычно состоят из сотен деталей, получаемых путем механообработки, литья, штамповки. На механические узлы устанавливается электрооборудование. В числе заказчиков компании — изготовители пресс-форм, а также предприятия, применяющие специальные процессы электроэрозионной обработки и сверления.

Для автоматизированного проектирования изделий Sparkonix успешно использует систему Solid Edge® от Siemens Digital Industries Software. Однако с развитием производства возникла другая проблема: компания столкнулась со сложностями в управлении быстро растущим объемом конструкторской информации.





"CAD-данных становилось все больше, и работу с ними требовалось усовершенствовать, чтобы не происходило дублирования, — рассказывает Ананд Атоль (Anand Atole), заместитель главного конструктора компании Sparkonix. — Основным приоритетом стало обеспечение возможности повторного использования конструкторской информации для ускорения работ. Кроме того, рост числа пользователей вызвал необходимость упорядочить рабочие процессы и внедрить управление версиями документов".

Ускорение рабочих процессов

Sparkonix работает на высококонкурентном рынке, что предполагает постоянную разработку новых конструкций. Компания решила, не снижая качества, усовершенствовать выпускаемые изделия и процессы. Достичь этого без существенных затрат было непростой задачей, особенно если учесть необходимость соблюдать сроки выполнения заказов и своевременно информировать отдел маркетинга о проводимой

модернизации продукции. Компании требовалось оптимальное решение для ускорения производственных процессов

использовать данные было невозможно. Кроме того, информация нередко дублировалась, разграничение доступа к ней отсутствовало. Перед компанией стояла задача обеспечения удобного управления всеми конструкторскими документами, а также повторного использования и безопасности данных.

Teamcenter Rapid Start помог оптимизировать работу с конструкторскими данными и обеспечить доступ к ним для повторного использования во всех отделах компании: от продаж до технической поддержки.

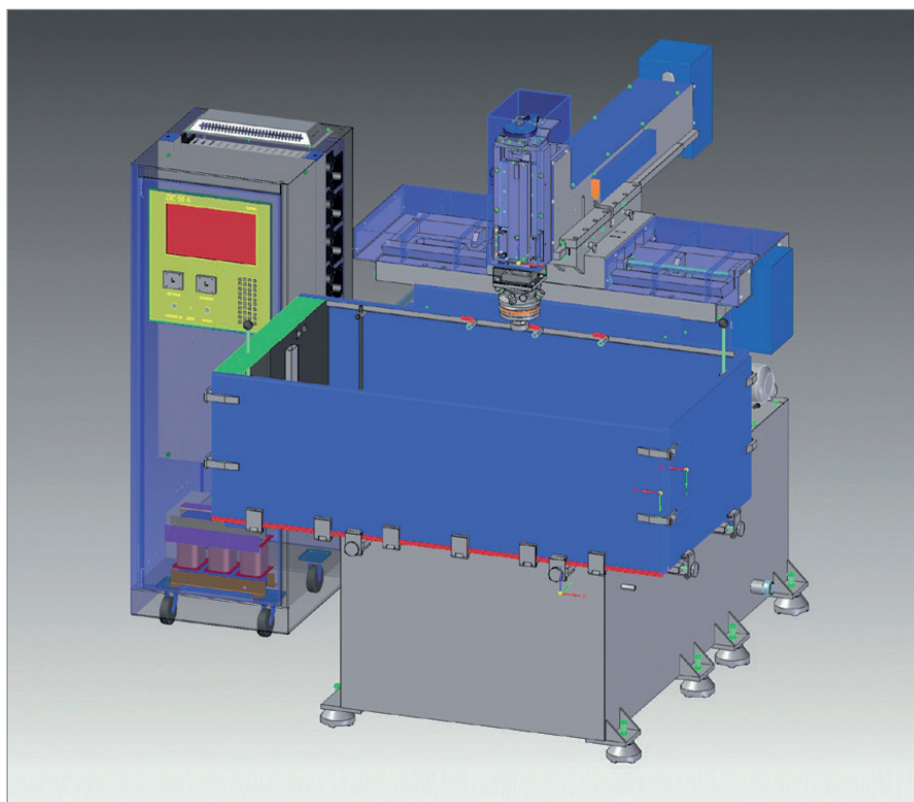
Ананд Атоль,
заместитель главного конструктора
компании Sparkonix

в условиях постоянно растущего спроса. В Sparkonix уже применялось централизованное хранилище данных, но поиск в нем был сильно затруднен, а повторно

Оптимизация конструкторской информации

Решение всех задач управления информацией в Sparkonix обеспечила система Teamcenter® от Siemens Digital Industries Software в конфигурации Rapid Start. Ананд Атоль отмечает: "Выбрав Teamcenter Rapid Start, мы получили централизованное хранилище конструкторской информации с мощными функциями управления данными, а также с возможностью эффективно выполнять поиск в базе и повторно использовать детали и сборки".

Выбранное решение обеспечило оптимальное управление различными версиями изделий. Эффективные средства управления правами доступа в зависи-



мости от типа пользователя, а также мгновенная доступность вносимых исправлений для всех участников процесса позволили конструкторскому отделу перейти на четко организованную безбумажную работу. "Ранее с данными приходилось работать вручную и в бумажном виде. Сейчас все необходимые функции выполняет PDM-система", — продолжает Ананд Атоль. Сегодня компания Sparkonix использует Teamcenter Rapid Start для передачи конструкторской информации в отделы закупок, продаж и технической поддержки. Встроенные функции просмотра и аннотирования позволяют специалистам просматривать конструкторские документы, представленные в не зависящем от конкретной CAD-системы формате JT. При этом устанавливать CAD-систему на рабочие места не требуется, а исполнители получают всю необходимую информацию для принятия оптимальных проектных решений.

"Teamcenter Rapid Start помог оптимизировать работу с конструкторскими данными и обеспечить доступ к ним для повторного использования во всех отделах компании: от продаж до технической поддержки. Теперь конструкторы занимаются именно конструированием, а не

хранением, поиском и извлечением информации. В итоге мы сократили сроки проектирования на 25%", — рассказывает Ананд Атоль.

Теперь конструкторы занимаются именно конструированием, а не хранением, поиском и извлечением информации. В итоге мы сократили сроки проектирования на 25%».

**Ананд Атоль,
заместитель главного конструктора
компании Sparkonix**

Быстрый запуск производства

Компания Sparkonix выбрала решение Teamcenter Rapid Start, обеспечивающее быстрое внедрение самых передовых методов управления данными и процессами в PDM-системе. Кроме того, эта система недорога и вполне доступна для

малого бизнеса. Таким образом, Teamcenter Rapid Start — оптимальное PDM-решение по привлекательной цене. Компания Sparkonix планирует в дальнейшем развить этот продукт до полноценной PLM-системы. И это вполне реально, поскольку Teamcenter Rapid Start — лишь одна из конфигураций решения Teamcenter, и при переходе к PLM-системе обеспечена сохранность всех настроенных в PDM-системе меню и рабочих процессов.

Применяя стандартную методику внедрения PDM-решений и оптимальных рабочих процессов, компания Sparkonix начала использовать Teamcenter Rapid Start уже через месяц, а на обучение пользователей ушло всего два дня. Переход на любую новую версию произойдет легко и быстро, поскольку к квалификации IT-персонала при этом предъявляются минимальные требования.

Сокращение номенклатуры запасов

В длинном списке преимуществ Teamcenter Rapid Start — наличие функционала для управления номенклатурой труб, соединяющих насосы с фильтрами. "Teamcenter Rapid Start помог нам разобраться с типоразмерами используемых труб, — рассказывает Ананд Атоль. — Мы решили ограничить число вариантов длин труб и принять стандартный ряд длин, чтобы не увеличивать складские запасы".

Предоставляемый Rapid Start функционал (например, контроль конструкторских проектных решений, обмен данными с поставщиками и проведение изменений) позволил компании Sparkonix оптимизировать рабочие процессы и существенно улучшить их прослеживаемость.

Эффективная поддержка

С самого начала компании Sparkonix была предоставлена полная поддержка от разработчика. "На каждом этапе внедрения нам оказывалась эффективная квалифицированная помощь, — рассказывает Ананд Атоль. — Глобальный центр технической поддержки (GTAC) компании Siemens Digital Industries Software всегда готов помочь в решении любых возникающих проблем".

По материалам компании
Siemens Digital Industries Software



➤ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ

Механические и эксплуатационные свойства литой продукции зависят не только от химического состава сплава. Их определяет совокупность факторов, так или иначе влияющих на технологический процесс на разных его стадиях [1].

На стадии выплавки механические и эксплуатационные свойства определяют технологией выплавки, которая обеспечивает или не обеспечивает заданный химический состав, а также необходимое содержание неметаллических включений в сплаве [2-4].

Литейная форма влияет на свойства посредством теплообмена с литой заготов-

кой, который с той или иной интенсивностью протекает при кристаллизации и охлаждении отливки. Тем самым при этом могут изменяться количественные показатели структуры сплава, химический состав фаз и структурных составляющих, а также меняться соотношение между фазами, образующимися в микроструктуре изделия.

Следует отметить, что параметры литой структуры определяют ее параметры после термической обработки.

Однако проведение исследований, нацеленных на изучение процессов структурообразования на реальном объекте и тем более в условиях промышленного производства, является затруднитель-

ным, а главное — экономически необоснованным. Особенно если речь идет об экспериментах на крупных изделиях [5, 6].

Именно по этой причине для исследования процессов кристаллизации отливки в форме, структурообразования в настоящее время применяют компьютерное моделирование, которое позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными экономическими затратами исследовать процессы получения изделия, скорректировать технологию производства еще на стадии ее разработки, а также снизить количество брака [7].

Изучение процессов кристаллизации осуществляли в специализированном

Таблица 1. Химический состав стали марки 150ХНМ

Марка стали	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
150ХНМ	1,5	0,4	0,8	0,02	0,04	1,1	1,1	0,35

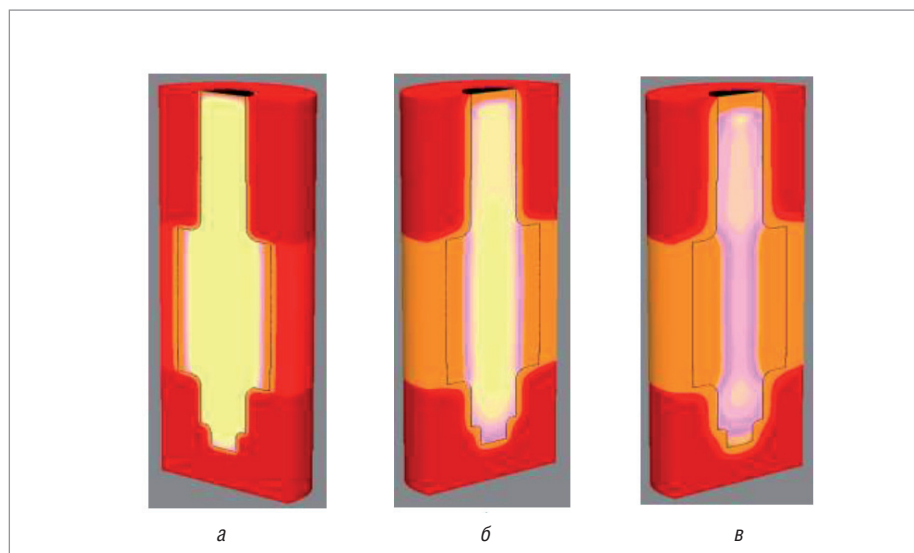


Рис. 1. Визуализация процесса кристаллизации валка: а – через 10 мин.; б – через 40 мин.; в – через 80 мин.

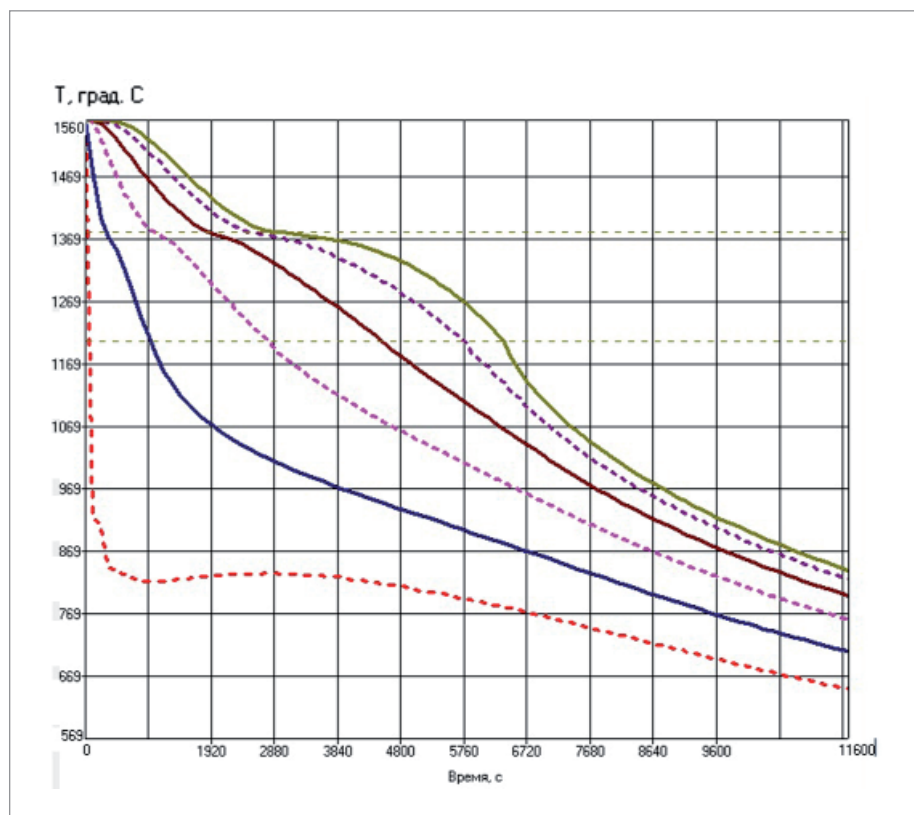


Рис. 2. Кривые охлаждения слоев бочки валка на расстоянии (мм) от поверхности раздела "отливка-форма":

1 – 5; 2 – 97; 3 – 189; 4 – 281; 5 – 373; 465

программном обеспечении СКМ ЛП "ПолигонСофт". Решение задач теплообмена в этой программе осуществляется методом конечных элементов.

Для получения корректных результатов на начальном этапе сгенерировали конечно-элементную модель отливки. При подготовке к расчету были заданы следующие входные данные: материал формы для шейки валка – холодно-твердеющая смесь (α – set процесс); материал формы для бочки валка – сталь 45Л; материал отливки – сталь 150ХНМ, базовый химический состав которой представлен в табл. 1.

На первоначальном этапе компьютерного моделирования была рассчитана скорость охлаждения сплава в бочке прокатного валка диаметром 920 мм. Для этого в бочку на этапе моделирования кристаллизационного процесса были установлены пять датчиков от поверхности раздела "отливка-форма" к центру бочки валка. Расстояние между датчиками составляло 92 мм, что позволило поделить половину сечения валка на равные участки.

На рис. 1 представлены трехмерные модели процесса кристаллизации валка в разные промежутки времени.

Полная кристаллизация отливки "Прокатный валок" наступает спустя 260 мин. с момента окончания заливки. При этом посредством компьютерного моделирования установили, что в сечении бочки валка, а также его шеек отсутствуют дефекты усадочного происхождения, что является индикатором качественной технологии.

Для оценки температурно-временных показателей кристаллизации бочки валка сняли показания датчиков температуры, установленных в бочке при моделировании. Кривые охлаждения слоев отливки на определенном расстоянии друг от друга представлены на графике (рис. 2).

При помощи проведенного компьютерного моделирования установили, что разница в скоростях охлаждения слоев металла бочки валка, расположенных на расстоянии 460 мм от поверхности контакта с формой до центра отливки, составляет почти 400 °С/мин. Слои расплава, расположенные в непосредственной близости к форме (менее 5 мм), кристаллизуются со скоростью охлаждения 395,4 °С/мин., в то время как слои, находящиеся на осевой линии прокатного валка, кристаллизуются со скоростью 2,82 °С/мин.

Данные по скоростям охлаждения в точке, удаленной на определенное расстоя-

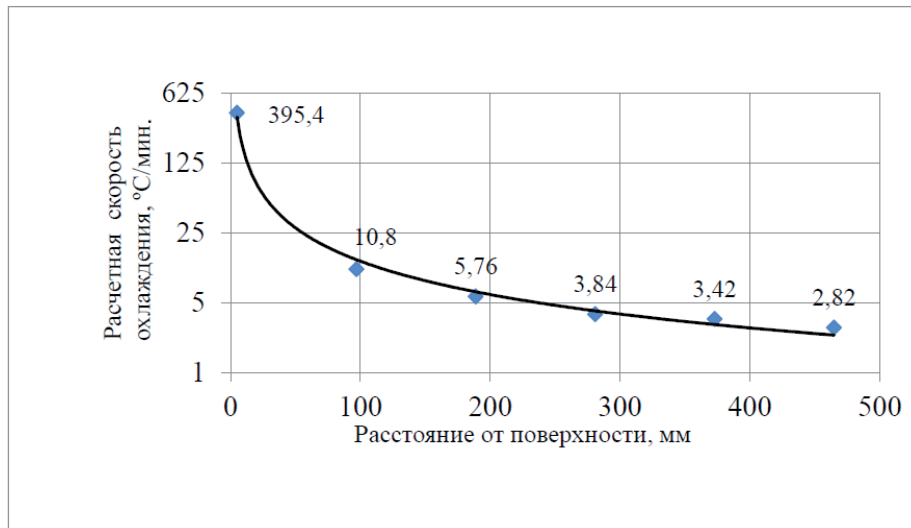


Рис. 3. Изменение скорости охлаждения слоев расплава по мере удаления от поверхности раздела "металл-отливка"

ние от поверхности раздела "отливка-форма", представлены на графике (рис. 3).

Сплав, имея одинаковый химический состав, но охлаждаясь в литейной форме с разными скоростями, может кардинально отличаться по микроструктуре [8-10].

Для определения влияния скорости охлаждения стали марки 150XHM на микроструктуру сплава были проведены

термодинамическое моделирование в программе Thermo Calc, а также физические эксперименты в литейной лаборатории ФГБОУ ВО "МГТУ им. Г.И. Носова".

Общий процесс образования твердой фазы, а также выделения из нее избыточной фазы показаны на графике (рис. 4).

Модель Шайля, заложенная в расчет процессов кристаллизации, позволила

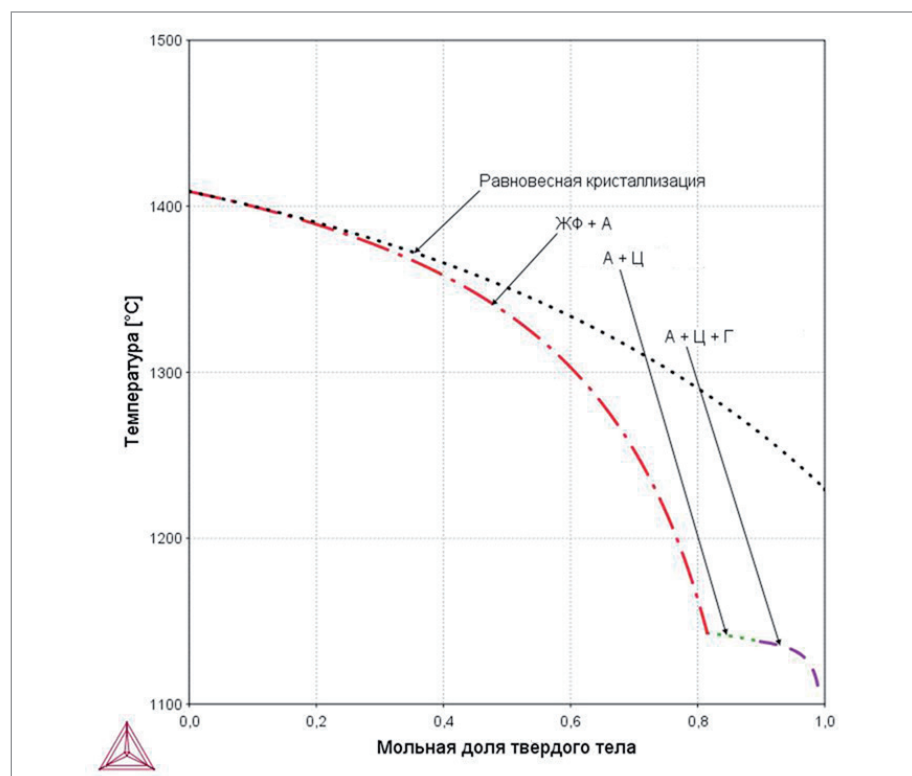


Рис. 4. Температурная зависимость изменения твердой фазы, а также выделения из нее избыточной фазы при кристаллизации и охлаждении стали марки 150XHM

исследовать температурные интервалы образования фаз, существования двухфазной области, а также процесс выделения избыточной фазы [11, 12].

В процессе структурообразования при понижении температуры происходит выделение аустенита из жидкой фазы.

Следующим этапом в образовании микроструктуры прокатного валка из стали марки 150XHM является выделение цементита по границам аустенитного зерна, а также внутри него.

Заканчивается процесс выделением графита, который протекает при более низких температурах, близких к 1100 °C.

Графит является желательной фазой в микроструктуре прокатных валков, так как он способствует предотвращению налипания проката на валок в производственном процессе [13-15].

Известно, что разные элементы по-разному влияют на процесс выделения графита. Другими словами, некоторые элементы способствуют процессу графитизации – C, Si, Ni и др., а другие элементы, которые связывают углерод в карбиды – Cr, Mo, Ti и т.д., – препятствуют.

Химический состав исследуемой валковой стали в промышленности обычно несколько изменяется в тех или иных целях. Например, концентрация углерода может изменяться от 1,3 до 2,0%, а хрома – от 0,9 до 1,5%. Следовательно, изменяя концентрацию того или иного элемента, можно регулировать количественные характеристики этой фазы.

Для оценки влияния различных элементов на процесс графитизации, а также уточнения концентрационных интервалов элементов, находясь в которых этот элемент не будет препятствовать выделению графита, провели моделирование в Thermo Calc.

Условия моделирования были таковы, что в целом химический состав сплава оставался неизменным, менялась в разумных пределах лишь концентрация отдельных элементов.

На рис. 5 показаны графики влияния хрома и никеля на количество графита в структуре заэвтектонидной стали. Известно, что хром является элементом, который препятствует графитизации, а никель способствует выделению графита. Это подтверждено графиками, представленными на рис. 5.

Для оценки влияния химических элементов на объемную долю карбидной фазы провели моделирование фазового равновесия в ПО Thermo Calc. При этом

Таблица 2. Обобщенные данные по влиянию химических элементов на объемную долю (V г) графитовой фазы

№	Концентрация элемента, %	V г, %	№	Концентрация элемента, %	V г, %
1	C = 1,3	0,03508	4	Cr = 0,9	0,04336
	C = 1,8	0,05171		Cr = 1,5	0,03862
2	Si = 0,4	0,04178	5	Ni = 0,8	0,04145
	Si = 0,8	0,04178		Ni = 1,4	0,04146
3	Mn = 0,5	0,04183	6	Mo = 0,1	0,04243
	Mn = 1,0	0,04175		Mo = 0,4	0,04146

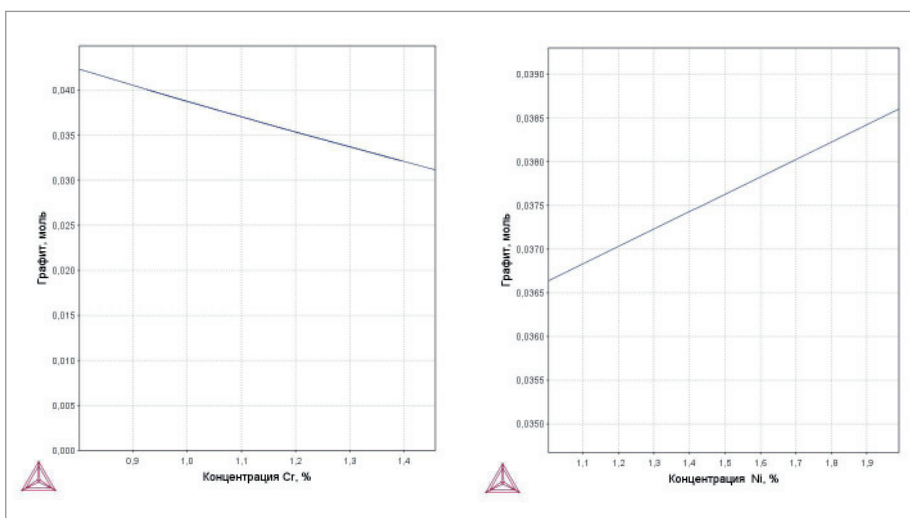


Рис. 5. Влияние хрома и никеля на мольную долю графитовой фазы

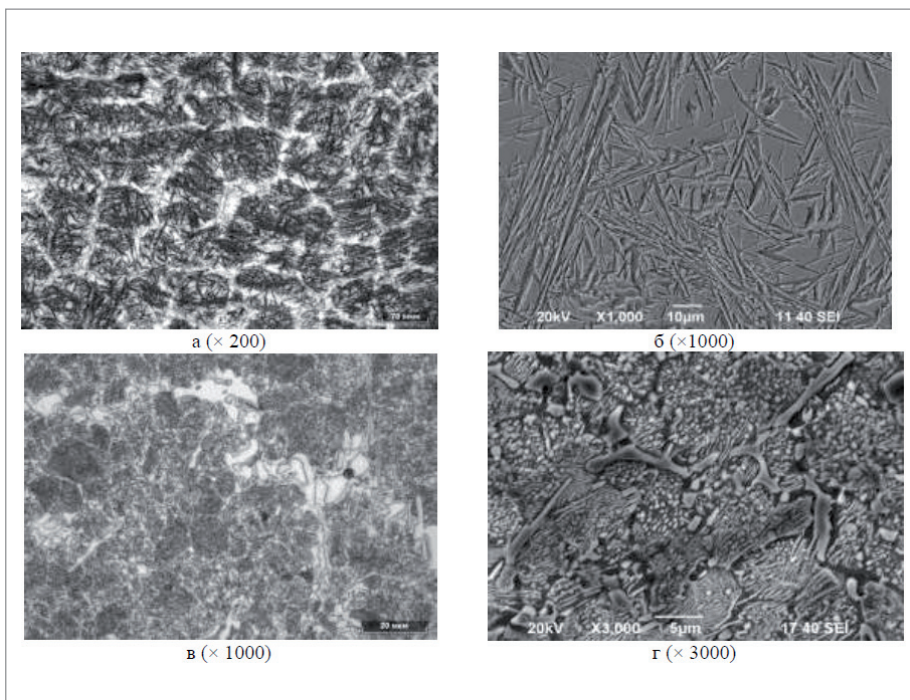


Рис. 6. Литая структура, сформировавшаяся при скоростях охлаждения 60,6 °С/мин. (а, б) и 10,8 °С/мин. (в, г)

меняли концентрацию какого-либо одного элемента, оставляя неизменным содержание других на уровне, указанном в табл. 1. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных показал, что существенное влияние на объемную долю графита при прочих равных условиях оказывает углерод, а также хром. При этом углерод способствует увеличению объемной доли графитовой фазы на 47%, а хром снижает на 11%.

Следует отметить, что повышение концентрации элементов, способствующих графитизации (Ni, Si), не приводит к существенному увеличению объемной доли графита без увеличения углерода.

В реальных условиях на процесс структурообразования оказывает влияние скорость охлаждения изделия. Кроме того, модель Шайля не учитывает структурных превращений, которые протекают в реальных литых изделиях.

Для изучения процесса были проведены лабораторные эксперименты по изучению процессов структурообразования валковой стали. Также были исследованы образцы, вырезанные из бочки прокатного валка на различном расстоянии от поверхности "отливка-форма".

В лабораторных условиях изготовили экспериментальные образцы, имеющие химический состав, представленный в табл. 1. Формирование литой структуры экспериментальных отливок протекало при различных скоростях охлаждения в температурном интервале кристаллизации от 60,6 до 402 °С/мин.

При высоких скоростях охлаждения расплава в форме, достигнутых при получении лабораторных экспериментов, а также в поверхностных слоях бочки валка аустенит претерпевает мартенситное превращение. Также наблюдали выделение цементита по границам действительного зерна (рис. 6, а-б).

При более низких скоростях охлаждения расплава (менее 10,8 °С/мин.) литая структура представлена различными формами перлита – пластинчатым и зернистым. По границам действительного зерна, как и при более высоких скоростях охлаждения, также выделяется цементитная сетка (рис. 6, в-г). Нежелательная мартенситная структура для прокатного валка, которая образуется в поверхностных слоях его бочки, устраняется посредством термической обработки [16-18]. Таким образом, после термической обработки микроструктура сплава состоит из перлита и карбидной фазы.

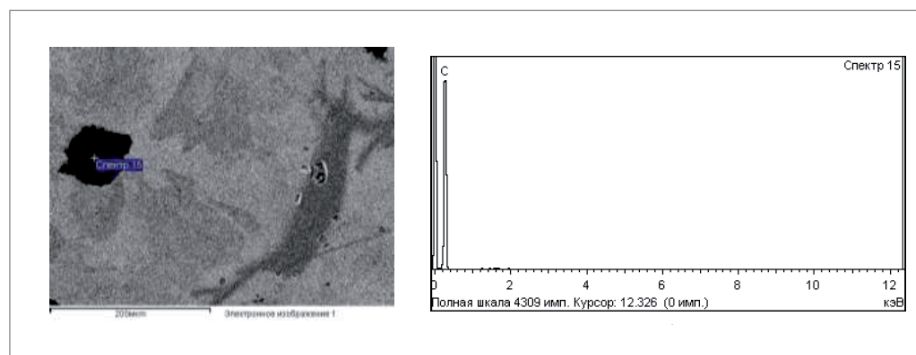


Рис. 7. Включение графита в микроструктуре бочки прокатного валка

При исследовании образцов, вырезанных из бочки валка, был обнаружен графит (рис. 7).

Процесс его выделения в литом изделии требует проведения дополнительных исследований.

Подводя итог всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- формирование литой структуры по сечению бочки прокатного валка осуществляется при различных скоростях охлаждения, которые могут отличаться более чем в 200 раз;
- литая структура состоит из мартенсита, перлита и цементитной сетки, выделяющейся по границам действительного зерна;
- согласно полученным расчетным данным, на процесс выделения графита существенное влияние оказывает концентрация углерода. Изменение ее с 1,3 до 1,8% приводит к увеличению объемной доли графита примерно на 50%. Также значительное влияние оказывает хром, увеличение которого в составе стали с 0,9 до 1,5% приводит к снижению количества графита на 11%. Увеличение концентрации элементов, способствующих графитизации, без увеличения содержания углерода не приводит к повышению объемной доли графитовой фазы.

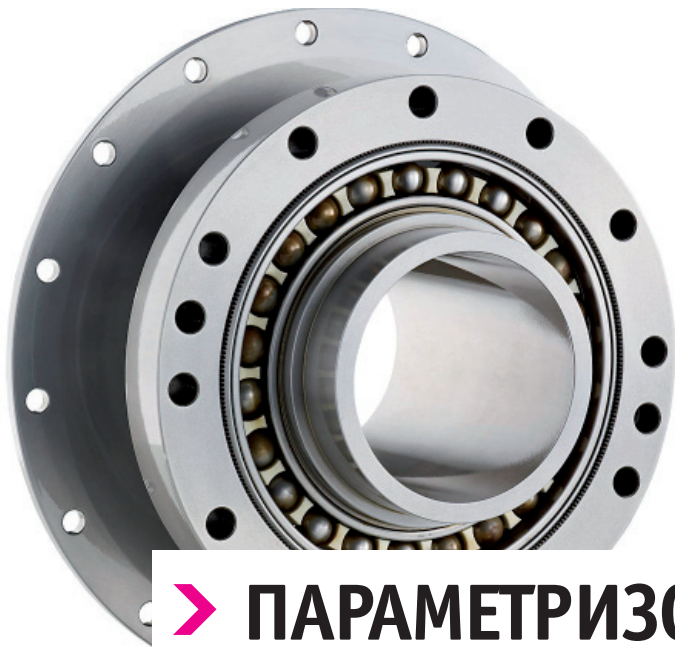
Литература

1. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А., Пивоварова К.Г. Исследование физических свойств углеродистой стали для крупных отливок // *Сталь*. 2014. № 4. С. 34-36.
2. Чайкин В.А., Чайкин А.В., Феокистов Н.А. Повышение эффективности диффузионного раскисления при выплавке стали в кислых и основных дуговых электропечах // *Литейщик России*. 2012. № 8. С. 40-42.

3. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А. Влияние обработки стали 25Л силикокальцием на содержание неметаллических включений и механические свойства литой заготовки // *Технология металлов*. 2012. № 2. С. 21-26.
4. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А. Влияние серы, кальция и алюминия на пластические свойства металла // *Теория и технология металлургического производства*. 2010. № 10. С. 103-107.
5. Вдовин К.Н., Савинов А.С., Феокистов Н.А. Технологические особенности производства крупного стального литья: монография. Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2015. 195 с.
6. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А. Технология изготовления шлаковых чаш // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2010. № 2 (30). С. 27-30.
7. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А. Моделирование процессов заливки и кристаллизации отливки "шлаковая чаша" // *Литейщик России*. 2012. № 3. С. 12-15.
8. Вдовин К.Н., Феокистов Н.А., Горленко Д.А., Хренов И.Б. и др. Изучение влияния скорости охлаждения на механические и эксплуатационные свойства стали 110Г13Л // *Литейщик России*. 2015. № 12. С. 23-24.
9. Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Феокистов Н.А. Влияние энергии дефектов упаковки на абразивную износостойкость отливок из стали FE – 12MN – 1,2C, охлажденных с различными скоростями // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2016. Т. 59. № 9. С. 603-609.

10. Вдовин К.Н., Горленко Д.А., Феокистов Н.А., Никитенко О.А. Исследование влияния скорости охлаждения при кристаллизации на размер аустенитного зерна литой стали 110Г13Л // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 10 – 2 (41). С. 28-31.
11. Chekmyshev, K.E., Ovcharenko, P.G. Numerical simulation of bimetallic casting cooling during the process of lost foam casting // *Journal of Crystal Growth*. 2019. P. 527. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2019.125243.
12. Hao, Y., Li, J., Li, X., Liu, W., Cao, G., Li, C., Liu, Z. Influences of cooling rates on solidification and segregation characteristics of Fe-Cr-Ni-Mo-N super austenitic stainless steel // *Journal of Materials Processing Technology*. 2020. P. 275. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116326.
13. Крюгер Ю., фон Швайнихен П., Майр А. и др. Современные технологии производства рабочих валков для толстолистовых прокатных станов // *Черные металлы*. 2017. № 7. С. 31-35.
14. Брандер М., Элизандро Л., Триколь Т. и др. Оптимизация валковых станов горячей прокатки с целью снижения общих затрат // *Черные металлы*. 2017. № 7. С. 24-30.
15. Потапов А.И., Шестаков Е.Н., Орлов Т.А. и др. Применение сталей заэвтектоидных марок дляковки валков горячей прокатки // *Черные металлы*. 2015. № 2 (998). С. 33-37.
16. Development of abrasion-resistant Ni-hard 4 cast irons / Liu Jinzhu, Man Yongfa. // *Wear*. 1993. V. 162-164. Pp. 833-836.
17. Correlation of microstructure and thermal fatigue property of three work rolls / Sunghak Lee, Do Hyung Kim, Jae Hwa Ryu, Keesam Shin // *Metallurgical and Materials Transactions A*. 1997. V. 28. Pp. 2595-2608.
18. Wear resistance of Ni-hard 4 and high-chromium cast iron re-evaluated / Liu Jinzhu, Li Shizhuo, Man Yongfa // *Wear*. 1993. V. 166. Pp. 37-40.

*Константин Вдовин,
Николай Феокистов,
Дмитрий Горленко,
Ирина Михалкина,
Александр Норец
Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова*



▶ ПАРАМЕТРИЗОВАННОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВОГО СТАКАНА в nanoCAD Plus 20

(Продолжение. Начало см. CADmaster, № 1/2020, с. 23-35)

В предыдущей статье мы рассматривали создание параметрических моделей. А сегодня создадим новую модель крышки подшипникового стакана, связав ее геометрические параметры с ранее созданным подшипниковым стаканом, и подготовим модели для создания параметризованной 3D-сборки.

Часть 1. Создание параметрических связей между объектами

Создайте новый эскиз. Произвольно нарисуйте в нем исходный контур детали так, чтобы он примерно соответствовал рис. 1. Для удобства черчения используйте объектные привязки и разрез проекционного вида стакана, а также полилинию, контур которой должен быть замкнут. Подробнее о создании эскизов рассказано в предыдущем номере журнала CADmaster¹.

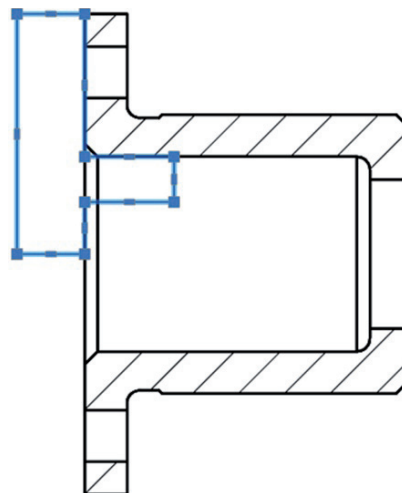


Рис. 1. Эскиз крышки подшипникового стакана

¹ Параметризованное 3D-моделирование подшипникового стакана в nanoCAD Plus 20. – CADmaster, № 1/2020, с. 23-35. См. раздел "Создание эскиза".

Продолжая работать в режиме эскиза, проставьте на эскизе геометрические зависимости. Как это сделать, рассказано в первой части статьи², здесь же мы ограничимся кратким описанием. Если взаимная ориентация отрезков контура эскиза имеет требуемый вид, то вполне можно воспользоваться функцией автоналожения зависимостей. Зависимости будут наложены в соответствии с текущей геометрией контура (рис. 2). Затем можно приступить к нанесению параметрических размеров.

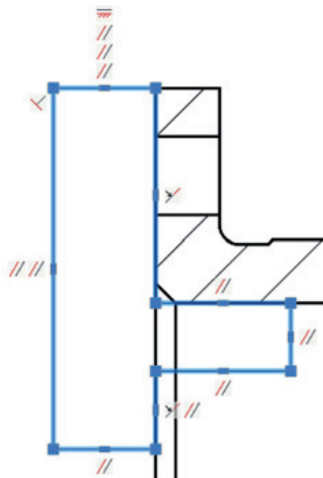


Рис. 2. Результат автоналожения зависимостей на эскиз

Порядок нанесения параметрических размеров также представлен в предыдущем номере журнала.

Необходимо, чтобы нанесенные параметрические размеры однозначно определяли геометрию эскиза. К сожалению, в papoCAD пока нет возможности автоматически отслеживать этот параметр, поэтому при выполнении данной операции следует быть внимательным.

В результате добавления геометрических зависимостей и нанесения параметрических размеров получится параметрический эскиз (рис. 3).

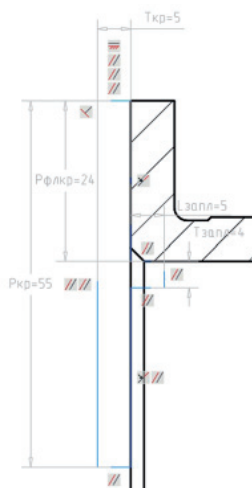


Рис. 3. Результат простановки размерных зависимостей на эскизе

Завершите редактирование эскиза и с его помощью создайте 3D-тело вращения. Некоторые операции 3D-моделирования мы рассмотрели в первой части статьи.

Чтобы создать тело вращения, воспользуйтесь командой **3D Вращение** (рис. 4).

В качестве оси вращения выберите нижний отрезок полилинии.

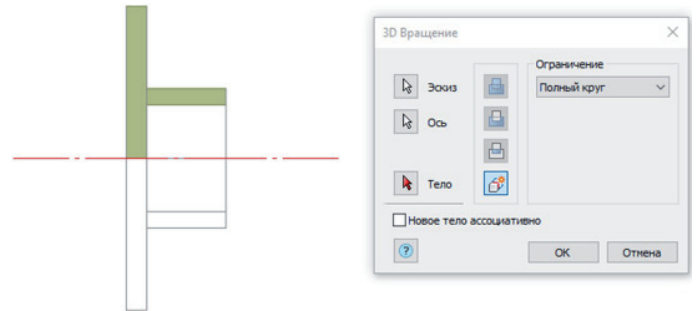


Рис. 4. Окно операции 3D Вращение

В результате вы получите параметрическую модель крышки подшипникового стакана.

Свяжем параметры подшипникового стакана и крышки таким образом, чтобы геометрия крышки менялась в соответствии с геометрией стакана. Задание именованных параметров стакана было рассмотрено в первой части⁴. Теперь воспользуемся этими именами, чтобы задать параметры крышки. Присвойте размерным параметрам крышки имена и задайте им значения, используя имена параметров стакана (рис. 5).

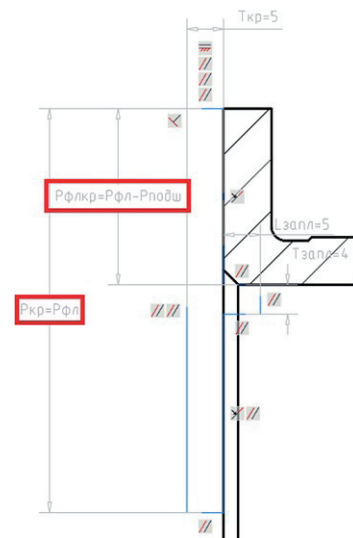


Рис. 5. Использование имен параметров стакана для задания выражений параметров крышки

Теперь необходимо создать параметрические отверстия в ответном фланце крышки стакана. Формировать эскиз на поверхности фланца крышки удобнее, если воспользоваться режимом динамической ПСК (пользовательской системы координат), который позволяет автоматически выравнивать ПСК по плоскости грани 3D-тела. Таким образом появляется возможность чертить объекты сразу в нужной плоскости.

Чтобы включить/отключить режим динамической ПСК, необходимо вызвать в командной строке команду



² Там же. См. раздел "Геометрические зависимости".

³ Там же. См. раздел "Размерные зависимости".

⁴ Там же. См. раздел "Редактирование детали Менеджером параметров".

UCSDETECTCMD, либо нажать на клавиатуре клавишу F6, либо активировать этот режим, нажав кнопку в строке состояния в правом нижнем углу окна nanoCAD (рис. 6).

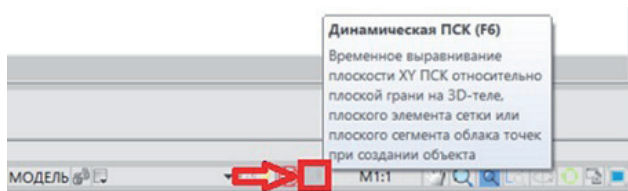


Рис. 6. Включение/отключение режима динамической ПСК в строке состояния

Вызовите команду создания эскиза, а затем активируйте режим динамической ПСК. Наведите курсор на поверхность фланца крышки. Обратите внимание, как изменился курсор: плоскость X0Y динамической ПСК совпала с плоскостью поверхности фланца (рис. 7). Для подтверждения нажмите левую кнопку мыши.

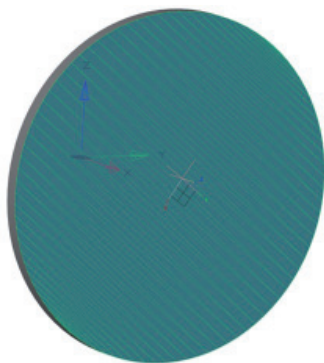


Рис. 7. Выбор поверхности для создания эскиза при помощи динамической ПСК

Черчение перейдет в режим эскиза. Начало координат ПСК расположено в геометрическом центре круглой поверхности фланца. Кроме того, в начале координат автоматически появился объект точки с зависимостью фиксации расположения, а в эскизе также автоматически сформировались геометрические объекты, спроецированные на плоскость эскиза (рис. 8).

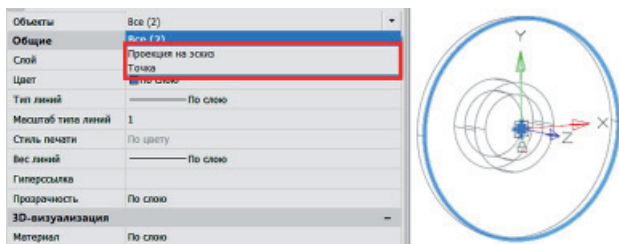


Рис. 8. Автоматически созданные объекты эскиза

Объекты проекции не пригодятся, их можно удалить или же оставить: мешать они не будут, поскольку в дальнейшем при использовании операций 3D-моделирования предусмотрена возможность указывать не весь эскиз целиком, а конкретный замкнутый контур эскиза.

Удобнее выделять объекты, находящиеся на эскизе, используя визуальный стиль 3D каркас, при котором отображения 3D-объектов выделяются курсором только если указать на их ребро; при этом для курсора поверхности являются "прозрачными".

Чтобы переключить отображение на визуальный стиль 3D каркас, необходимо вызвать в командной строке команду ВС3Д, либо выбрать соответствующую иконку на панели Визуальные стили, либо вызвать в ленточном интерфейсе Вид → Область чертежа → Визуальные стили → 3D каркас или в выпадающем меню Вид → Визуальные стили → 3D каркас, либо включить его с помощью кнопки управления стилями, расположенной в левом верхнем углу пространства модели (рис. 9).

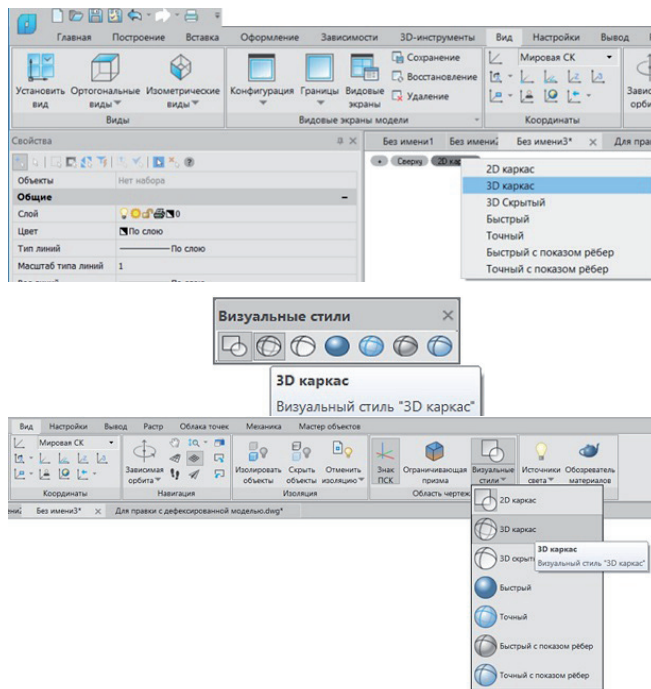


Рис. 9. Переключение визуальных стилей

Начертите в эскизе окружность и задайте ей параметры, как показано на рис. 10.

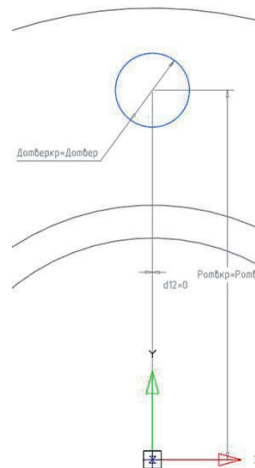


Рис. 10. Эскиз отверстия в крышке стакана

Завершите редактирование эскиза и при помощи операции выдавливания вырежьте отверстие. Затем создайте круговой массив отверстий (эти действия были подробно рассмотрены в предыдущем номере журнала⁵). В итоге должна получиться крышка подшипникового стакана с отверстиями под крепежные. Установите стиль отображения Точный.

⁵ Там же. См. раздел "Создание кругового массива отверстий".

Снова сделайте активной мировую систему координат. Для этого можно вызвать в командной строке команду *МСК*, либо выбрать *Мировая СК* в выпадающем списке на панели *ПСК*, либо указать в ленточном интерфейсе на вкладке *Вид: Координаты* → *Выпадающий список* → *Мировая СК* (рис. 11).

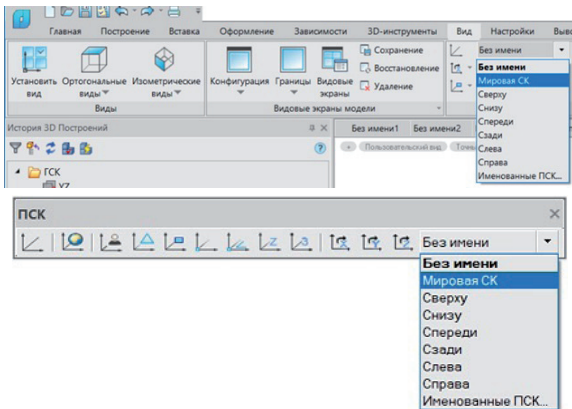


Рис. 11. Плавающая панель *ПСК* и ленточный интерфейс. Системы координат. Выпадающий список СК

Откройте Менеджер параметров и в выражении массива количества отверстий крышки укажите имя параметра аналогично-го массива отверстий стакана (рис. 12).

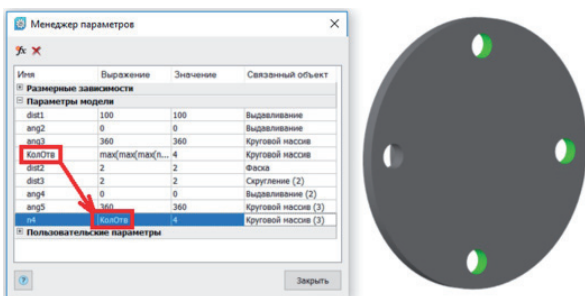


Рис. 12. Связывание параметров массивов отверстий стакана и крышки

Перед сборкой подшипникового узла следует удобно разместить 3D-тело, относительно которого будет осуществляться дальнейшая сборка. Для этого:

- разместите стакан в начале мировой системы координат;
- совместите ось стакана с одной из осей МСК;
- зафиксируйте положение стакана в истории построений.

Чтобы к началу координат можно было привязаться с помощью объектной привязки, нужно включить отображение начала координат в истории построений: *ГСК* → *Начало координат* → *Контекстное меню* → *Показать* (рис. 13). О том, как открыть панель истории построений, мы рассказывали в предыдущем номере⁶.

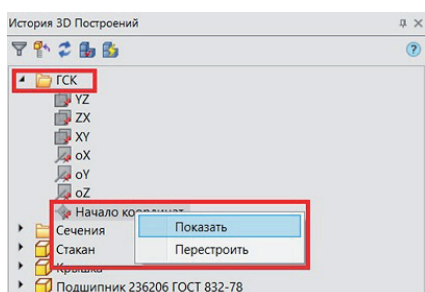


Рис. 13. Включение отображения начала МСК в окне *История 3D Построений*

Сделайте видимой одну из плоскостей МСК (рис. 14).

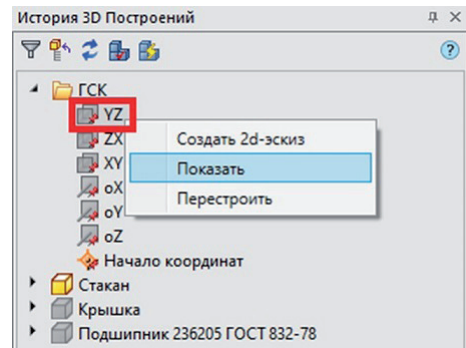


Рис. 14. Включение отображения плоскости МСК в окне *История 3D Построений*

Если изначально эскиз либо модель стакана не поворачивались, то ось стакана будет совпадать с одной из осей МСК. Если ось не совпадает, выполните выравнивание поверхности грани торца стакана относительно одной из плоскостей МСК. Для этого вызовите команду *3DALIGN*, либо на панели *3D*, либо в ленточном интерфейсе укажите *3D-инструменты* → *Редактирование* → *3D Выравнивание*, либо в выпадающем меню откройте *3D* → *3D элементы* → *3D Выравнивание*.

Укажите курсором плоскость МСК и стакан, нажмите *Enter* для подтверждения. Появится окно *3D Выравнивание* (рис. 15).

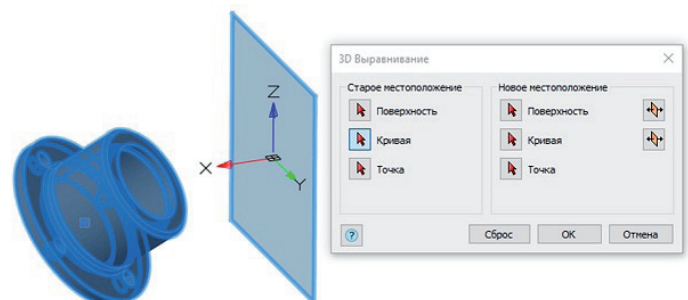


Рис. 15. Окно *3D Выравнивание*

В способе задания старого местоположения выберите *Поверхность*, после чего последовательно укажите сначала поверхность торца стакана (рис. 16), а затем отображаемую плоскость МСК. Появится фантом расположения стакана (рис. 17).

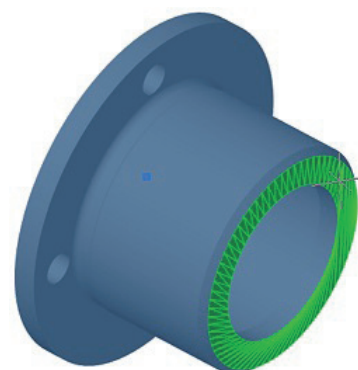


Рис. 16. Выбор поверхности для 3D-выравнивания



⁶ Там же. См. раздел "Создание эскиза".

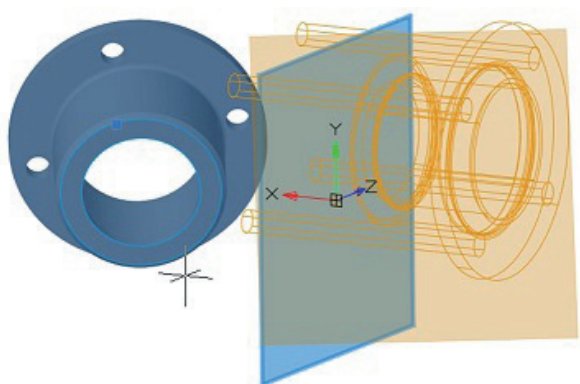


Рис. 17. Фантом выполнения операции 3D-выравнивания

Можно изменить направление нормали (рис. 18), но при этом фантом не меняет своего отображения, поэтому будьте внимательны.

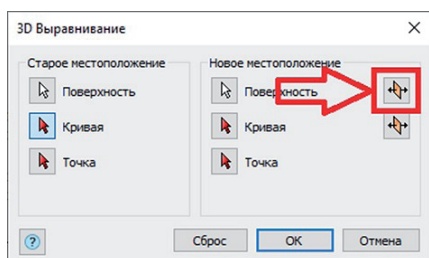


Рис. 18. Смена направления ориентации выровниваемых объектов в окне 3D Выравнивание

После установки параметров нажмите кнопку **OK** – торец стакана будет выровнен относительно плоскости МСК (рис. 19).

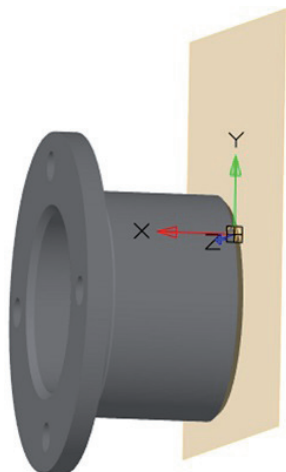


Рис. 19. Результат выполнения 3D-выравнивания

Теперь необходимо переместить стакан в начало МСК, за центр окружности на торце стакана.

Чтобы переместить стакан, необходимо воспользоваться командой перемещения. Для ее вызова можно ввести в командную строку команду **ПЕРЕНЕСТИ**, либо выбрать соответствующую иконку на панели **Редактирование**, либо в ленточном интерфейсе открыть **Построение** → **Редактирование** → **Перемещение**, либо в выпадающем меню вызвать **Редактирование** → **Перемещение** (рис. 20).

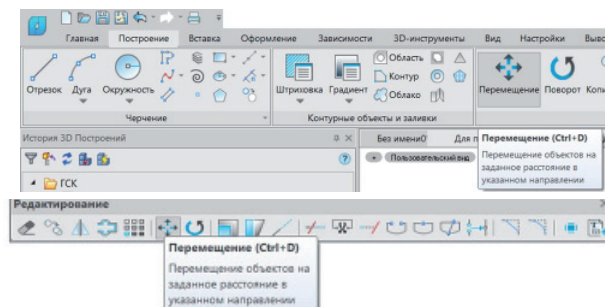


Рис. 20. Плавающая панель **Редактирование** и ленточный интерфейс. Команда перемещения

Чтобы было удобнее привязаться к центру окружности, включите объектную привязку **Центр**, отключив остальные объектные привязки (рис. 21). Включение/отключение объектных привязок рассмотрено в первой части статьи⁷.

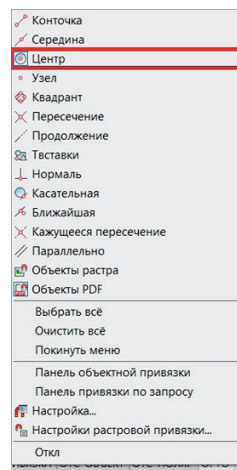


Рис. 21. Объектная привязка **Центр**

Включите объектную привязку по центру и активируйте команду перемещения. Квадратным курсором, обозначающим режим выбора объектов, выберите стакан, используя правую кнопку мыши. При выделении оттенок стакана изменится на голубоватый (рис. 22). Для подтверждения выбора нажмите на клавиатуре **Enter** или пробел.

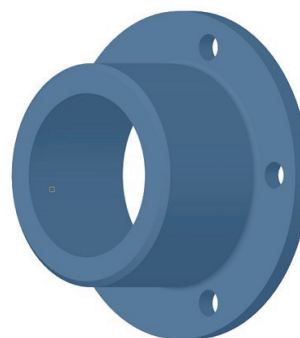


Рис. 22. Изменение цвета тела при выделении

Теперь необходимо найти точку, за которую объект будет перемещаться. Это можно сделать несколькими способами.

- Наведите курсор на то место, где должен быть центр окружности торца стакана. Появится значок, обозначающий объектную привязку, а рядом с курсором – надпись

⁷ Там же. См. раздел "Параметрический эскиз отверстия".

о виде сработавшей объектной привязки (рис. 23); при этом сам курсор разместится на данной точке.

Такой способ поиска точки может быть осложнен наличием поблизости центров других окружностей. Поэтому, если не удастся правильно определить необходимую точку, следует воспользоваться вторым способом.



Рис. 23. Поиск центра окружности торца наведением курсора на точку центра

- Предварительно измените стиль отображения на *Точный с показом ребер*, а затем наведите курсор на окружность торца стакана (рис. 24). После этого автоматически сработает привязка к центру.

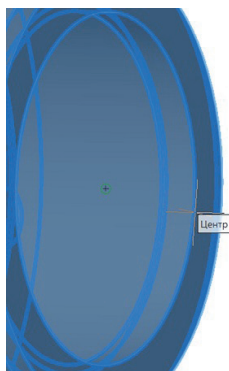


Рис. 24. Поиск центра окружности торца наведением курсора на окружность

Правой кнопкой мыши выберите предложенную точку. Появится фантом перемещаемого объекта (рис. 25), габариты которого будут размещены внутри четырехугольной призмы. Ребра призмы отображаются пунктирной линией.

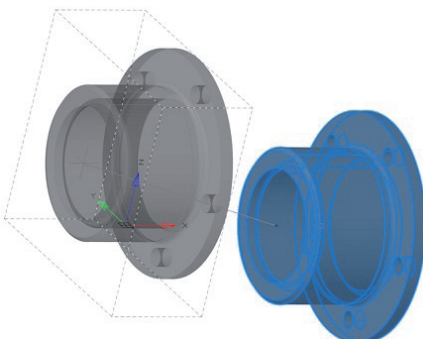


Рис. 25. Фантом перемещаемого тела

Теперь нужно указать точку, в которую следует переместить стакан. Существуют несколько способов указания: ввести в командную строку координаты 0,0 начала мировой системы координат либо указать начало МСК с помощью объектной привязки *контточка*.

После перемещения стакана в начало МСК зафиксируйте его положение в пространстве (это нужно для однозначного определения положения в пространстве модели всей последующей сборки). Для выполнения данной операции необходимо в истории построений щелкнуть на теле стакана правой кнопкой мыши и в контекстном меню выбрать пункт *Фиксация* (рис. 26).

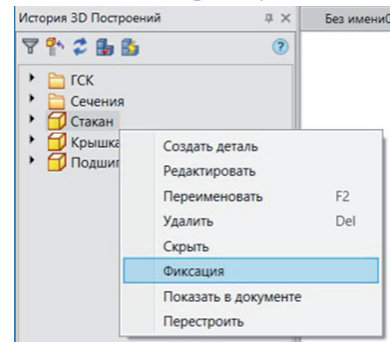


Рис. 26. Фиксация тела

Итак, мы научились связывать параметры созданных 3D-моделей, а также рассмотрели инструменты, которые позволяют перемещать 3D-модели в удобное для нас расположение. В следующей части мы научимся задавать и редактировать 3D-зависимости между 3D-моделями сборки и изучим инструменты, которые позволяют анализировать наличие коллизий между 3D-моделями.

Часть 2. Работа с 3D-зависимостями

Добавьте подшипник, выбрав его из базы nanoCAD Механика и разместив в пространстве модели. Если вы используете какой-либо другой программный продукт nanoCAD, пропустите это действие.

Чтобы открыть вкладку базы элементов nanoCAD Механика, необходимо вызвать в командной строке команду *mctabs*, либо в ленточном интерфейсе указать *Механика* → *Стандартные* → *Управление вкладками*, либо использовать панель *ЕСКД Стандартные*, либо в выпадающем меню выбрать *Механика* → *Стандартные* → *Управление вкладками* (рис. 27).

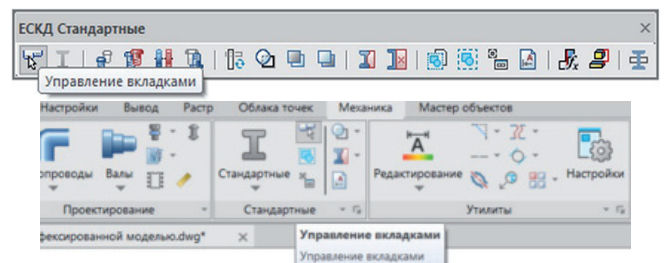


Рис. 27. Вызов команды управления вкладками на панели *ЕСКД Стандартные* и в ленточном интерфейсе

Затем в командной строке либо в динамической командной строке следует выбрать вкладку *База элементов* (рис. 28).

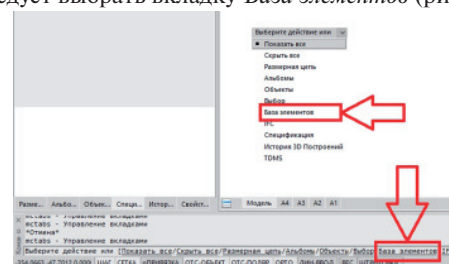


Рис. 28. Открытие/закрытие вкладки *База элементов*

Также в классическом варианте интерфейса вкладку базы элементов можно вызвать, щелкнув правой кнопкой мыши на свободном пространстве панелей и выбрав в появившемся контекстном меню *Функциональные панели* → *База элементов* (рис. 29).

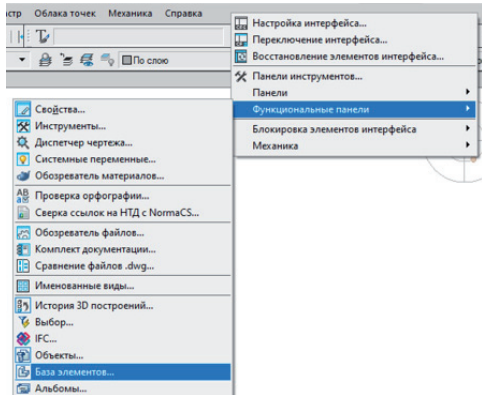


Рис. 29. Вызов вкладки *База элементов* в классическом варианте интерфейса
После этого должна появиться/исчезнуть вкладка с базой элементов (рис. 30).

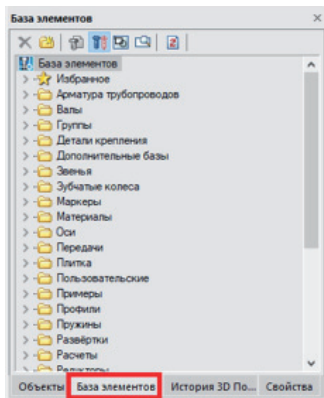


Рис. 30. Вкладка базы элементов папoCAD Механика
Раскройте дерево *Валы* → *Подшипники шариковые* (рис. 31).

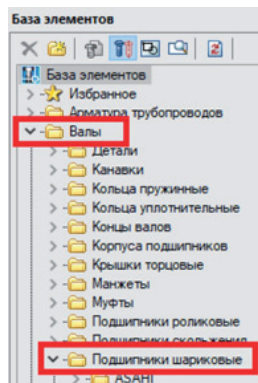


Рис. 31. Путь до раздела с шариковыми подшипниками
На вкладке базы элементов нажмите кнопку *Использовать 3D модели при вставке стандартных деталей* (рис. 32). Если эта кнопка неактивна, будут вставляться 2D-виды деталей.

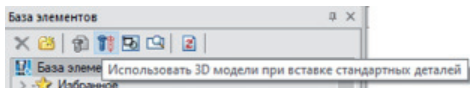


Рис. 32. Кнопка включения отображения 3D-моделей при вставке деталей из базы папoCAD Механика

Левой кнопкой мыши выберите подшипник ГОСТ 832-78 Тип 236000 (рис. 33).

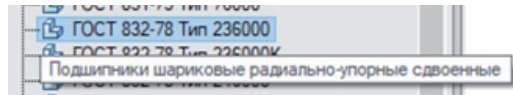


Рис. 33. Выбор подшипника ГОСТ 832-78 Тип 236000 из базы папoCAD Механика

Укажите точку вставки в пространстве модели. После этого появится окно редактирования параметров подшипника. Укажите параметры, как показано на рис. 34, и нажмите *OK*.

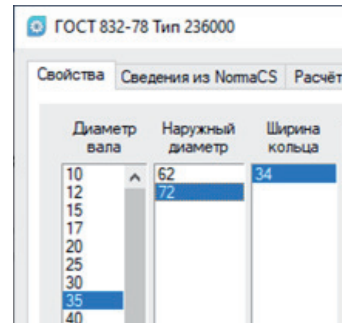


Рис. 34. Параметры подшипника

Для завершения работы команды нажмите на клавиатуре клавишу *Esc*.

Теперь задайте зависимости взаимного расположения 3D-тел стакана, подшипника и крышки. Для этого воспользуйтесь инструментами группы 3D-зависимостей. В ленточном интерфейсе они расположены на вкладке *3D-инструменты* → *3D-Зависимости*, либо на панели *3D* (рис. 35), либо в выпадающем меню *3D* → *3D элементы*.

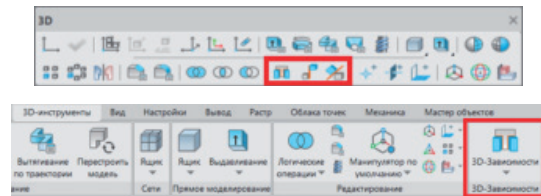


Рис. 35. Инструменты 3D-зависимостей на панели *3D* и в ленточном интерфейсе

При задании 3D-зависимостей между 3D-телами удобно скрывать тела, не участвующие в операции. Для этого в истории построений щелкните правой кнопкой мыши на 3D-теле и выберите в контекстном меню пункт *Скрыть* (рис. 36).

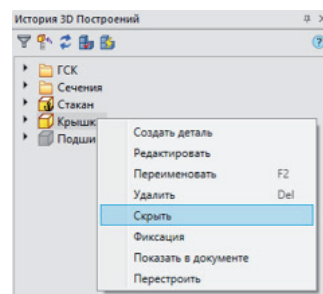


Рис. 36. Скрытие объекта
Измените стиль отображения на *3D-скрытый* и с помощью команды *Зависимость 3D-вставка* вставьте подшипник в стакан. Инструмент 3D-вставки позволяет совместить плоские поверхности, в которых лежат указанные пользователем

окружности оснований двух 3D-тел; при этом также совмещаются (лежат на одной прямой) векторы нормалей. Начала векторов нормали совпадают с центрами окружностей.

Активируйте объектную привязку *Ближайшая*.

Вызовите в командной строке команду *3dinsert*, либо в ленточном интерфейсе укажите *3D-инструменты* → *3D-Зависимости* → *Зависимость 3D вставка*, либо выберите соответствующую иконку на панели *3D*, либо в выпадающем меню откройте *3D* → *3D элементы* → *Зависимость 3D вставка* (рис. 37).

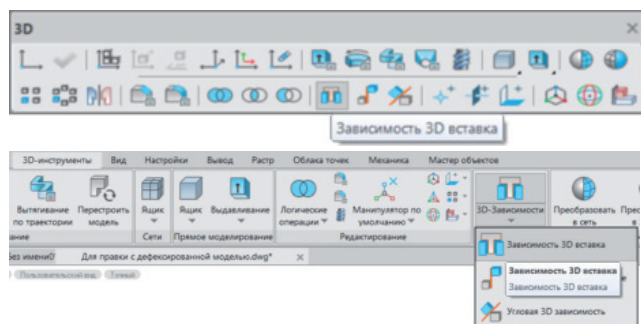


Рис. 37. Зависимость 3D вставка на панели 3D и в ленточном интерфейсе

Курсором укажите окружность внешнего диаметра подшипника. При наведении курсора окружность выделяется зеленым цветом, а также появляется стрелка вектора нормали. После выбора окружности ее цвет становится желтым (рис. 38).

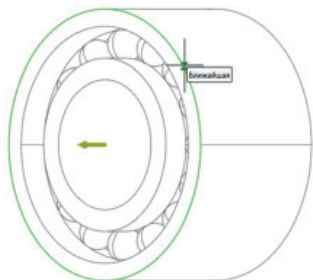


Рис. 38. Выбор окружности подшипника для указания 3D-зависимости Вставка

Затем укажите окружность заплечика стакана (рис. 39).

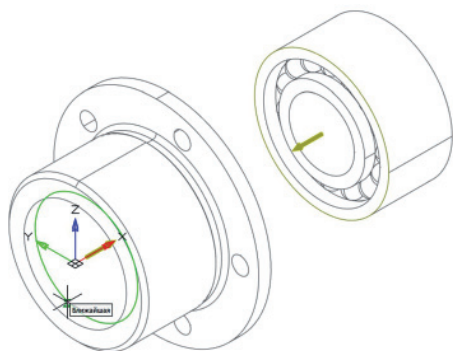


Рис. 39. Выбор окружности стакана для создания 3D-зависимости Вставка

После этого произойдет сопряжение тел. В командной строке можно изменить направление векторов нормали, чтобы перевернуть одну деталь относительно другой (рис. 40). Для этого щелкните кнопкой мыши на подчеркнутом параметре или введите в командную строку его имя. Имя может быть полным либо указываться заглавной буквой в имени параметра. Для подтверждения нажмите *Enter*.

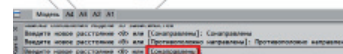
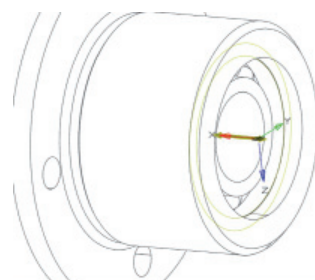


Рис. 40. Изменение направления векторов нормали

Сделайте видимыми скрытые детали. Для этого в контекстном меню истории построений необходимо выбрать пункт *Показать* (рис. 41).

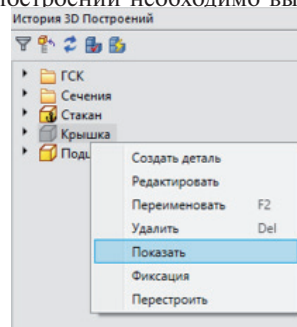


Рис. 41. Включение отображения объектов в Истории 3D Построений

Вставьте крышку в подшипниковый стакан с помощью инструмента 3D-вставки.

Укажите окружности фланцев стакана и крышки (рис. 42).

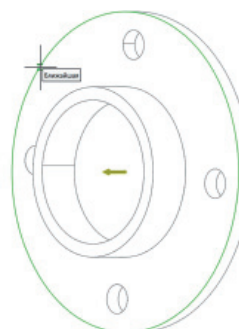


Рис. 42. Выбор окружности крышки для указания 3D-зависимости Вставка

Затем укажите окружность второго 3D-тела (рис. 43).

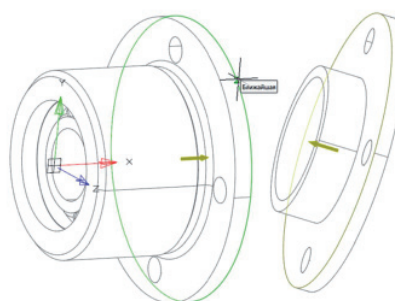


Рис. 43. Выбор второй окружности стакана для указания 3D-зависимости Вставка

Также необходимо, чтобы отверстия стакана и крышки оставались соосными при изменении их количества в массиве. Для

этого следует добавить зависимость *3D вставка* для кромок отверстий. Установите стиль отображения *3D Каркас*. Активируйте инструмент *3D-вставки* и укажите окружности кромок отверстий (рис. 44). Подтвердите добавление зависимости нажатием клавиши *Enter*. Установите стиль отображения *Точный*.

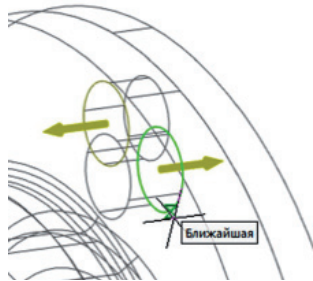


Рис. 44. Выбор окружностей при указании *3D-зависимости Вставка* для отверстий крышки и стакана

Чтобы увидеть, насколько корректно тела сопрягаются между собой, добавьте секущую плоскость, а в ее свойствах активируйте псевдоразрез. Для этого вызовите команду *viewsection* или команду *Секущая плоскость* в ленточном интерфейсе (рис. 45): *3D-инструменты* → *2D виды* → *Секущая плоскость*, либо выберите соответствующую иконку на панели *2D виды*, либо в выпадающем меню укажите *3D* → *2D виды* → *Секущая плоскость*.

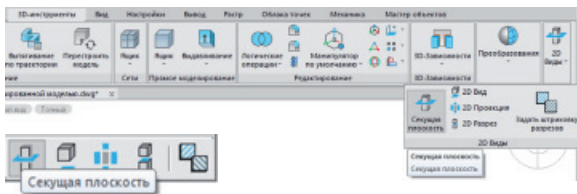


Рис. 45. Вызов команды *Секущая плоскость* на панели *2D виды* и в ленточном интерфейсе

Поскольку на оси сборки лежит точка начала МСК, удобно будет указать для секущей плоскости какую-либо из плоскостей МСК: *Y0Z*, *Z0X*, *X0Y*. В одной из этих плоскостей будет лежать грань торца стакана. Эту плоскость в качестве секущей указывать не нужно, так как она ничего не разрежет. В истории построений укажите одну из плоскостей МСК – при наведении курсора она будет окрашиваться в зеленый цвет (рис. 46).

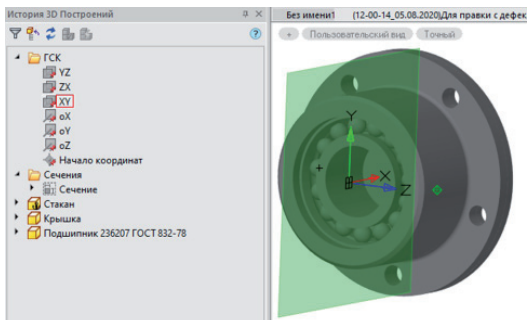


Рис. 46. Выбор секущей плоскости в окне *История 3D Построений*

После этого можно будет разместить вид сечения. Если в нем нет необходимости, можно нажать на клавиатуре клавишу *Esc* – команда завершится, и будет создана только секущая плоскость.

Курсором выберите созданную секущую плоскость и в окне свойств укажите *Да* в выпадающем списке для параметра *Псевдоразрез* (рис. 47).

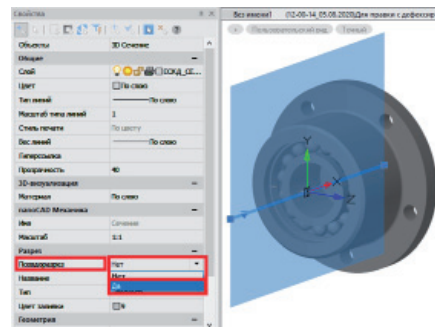


Рис. 47. Включение/отключение отображения псевдоразреза в свойствах секущей плоскости

После этого тело разрежется и в плоскости разреза будет отображаться псевдоразрез (рис. 48).

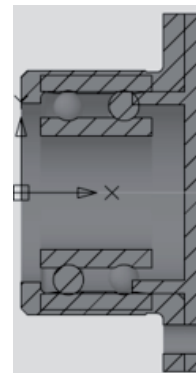


Рис. 48. Псевдоразрез сборки

Для удобства в истории построений скройте объект сечения (рис. 49).

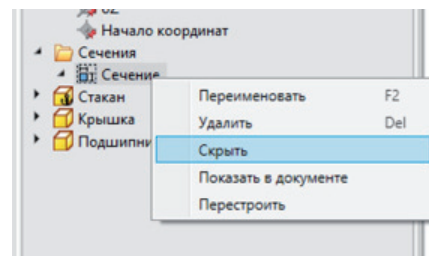


Рис. 49. Скрытие объекта секущей плоскости в *Истории 3D Построений*

Если внимательно рассмотреть псевдоразрез, то скорее всего окажется, что *3D-тела* имеют перекрытия. Внешний диаметр подшипника был установлен ранее: 72 мм. Откройте Менеджер параметров, присвойте параметру *Rподш* половину диаметра подшипника (рис. 50) и закройте Менеджер.

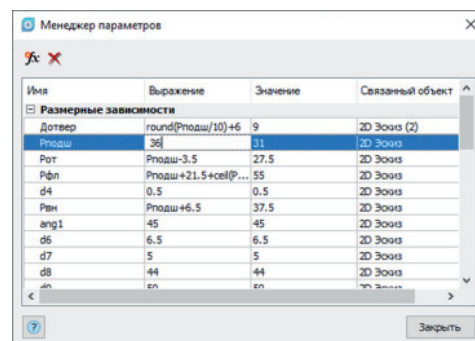


Рис. 50. Редактирование сборки при помощи Менеджера параметров

Можно видеть, как перестроились стакан и крышка стакана (рис. 51).

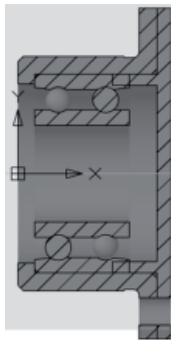


Рис. 51. Результат редактирования сборки после указания радиуса подшипника

Также возможно перекрытие заплечика крышки подшипником. Необходимо измерить размер перекрытия и изменить на эту величину параметр *Лзapl*. Измерить это расстояние можно с помощью инструмента *Отрезок*, а для поиска характерных точек — использовать объектные привязки (рис. 52).

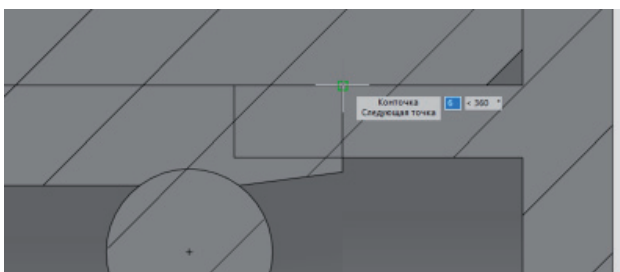


Рис. 52. Поиск длины перекрытия заплечика и подшипника

Кроме визуального анализа перекрытий деталей на разрезе, можно воспользоваться функционалом поиска перекрытий 3D-тел. Для этого необходимо вызвать в командной строке команду *interfere*, либо команду *Анализ перекрытий 3D тел* в ленточном интерфейсе: *3D-инструменты* → *Прямое моделирование* → *Анализ перекрытий 3D тел*, либо выбрать соответствующую иконку на панели инструментов *3D*, либо в выпадающем меню указать *3D* → *Прямое моделирование* → *Анализ перекрытий 3D тел* (рис. 53).

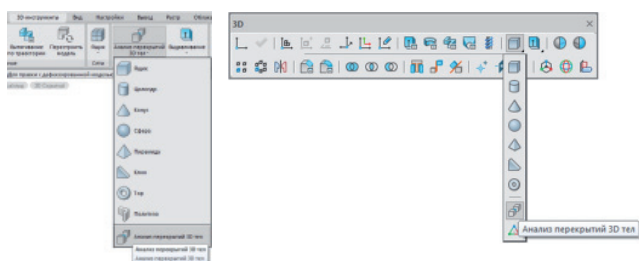


Рис. 53. Вызов команды анализа перекрытий на панели 3D и в ленточном интерфейсе

Затем необходимо выбрать наборы 3D-тел. Секущей рамкой выберите все тела и дважды нажмите *Enter*. Появится окно проверки взаимодействия. Тела, между которыми имеются перекрытия, станут прозрачными и окрасятся в голубой цвет. Участки перекрытий тел будут выделены зеленым (рис. 54). Если после двойного нажатия клавиши *Enter* окно *Проверка взаимодействия* не появилось, значит у выделенных тел нет перекрытий.

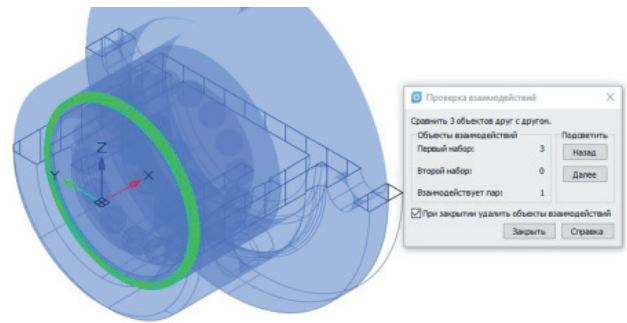


Рис. 54. Отображение перекрытий

В нашем случае подшипник и стакан имеют перекрытия, так как подшипник врезается в скругление стакана. Верным решением будет заменить конструктивный элемент скругления на канавку, отредактировав эскиз стакана.

У 3D-зависимостей также есть редактируемые параметры, которые позволяют задавать расстояния между сопрягаемыми поверхностями. Для этого необходимо дважды щелкнуть по зависимости в истории 3D-построений, а затем в командной строке ввести расстояние, на которое следует разнести сопрягаемые плоскости (рис. 55). Таким образом можно создать разнесенный вид сборки (рис. 56).



Рис. 55. Редактирование параметров 3D-зависимостей

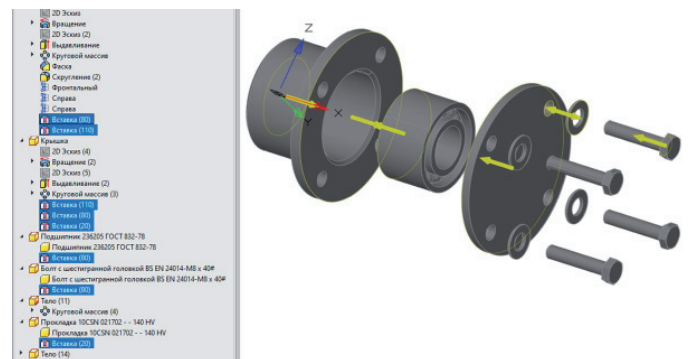


Рис. 56. Разнесенный вид сборки

Итак, мы познакомились с инструментами, которые позволяют задавать и редактировать параметрические зависимости взаимного расположения 3D-тел, а также рассмотрели инструменты, которые помогают найти перекрытия (коллизии) сопрягаемых 3D-тел.

Олег Ачкасов,
инженер САПР
ООО "Максофт-24"
E-mail: oleg@maxsoft.ru

NANOCAD

СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛИ ДЕТАЛИ НА ОСНОВЕ ЧЕРТЕЖА В ФОРМАТЕ PDF

Здравствуйте, дорогие читатели! В этой статье, открывающей цикл материалов, посвященных возможностям программного решения nanoCAD Механика с модулем "3D-моделирование и зависимости", мы рассмотрим создание 3D-модели детали на основе чертежа в формате PDF.

Распознавание PDF-файла

Запустите программу nanoCAD Механика. Создайте новый файл, для чего вызовите команду **НОВЫЙ (new)**: либо нажмите в левом верхнем углу экрана на логотип nanoCAD и в открывшемся выпадающем меню укажите **Файл → Создать**, либо используйте соответствующую кнопку на главной панели (рис. 1).



Рис. 1. Главная панель

Для создания эскиза необходимо загрузить PDF-файл *Ложемент.pdf*, расположенный в папке с архивом. Для загрузки следует вызвать команду **ПДФИМПОРТ (pdfimport)** либо в классическом интерфейсе (**Файл → Импорт pdf**), либо в ленточном (**Вставка → Импорт → Импорт PDF**) и выбрать файл *Ложемент.pdf*. В диалоговом окне **Импорт PDF** выберите всё, что показано на рис. 2, и нажмите **OK**. В командной строке введите координаты 0,0,0 и нажмите **Enter**.

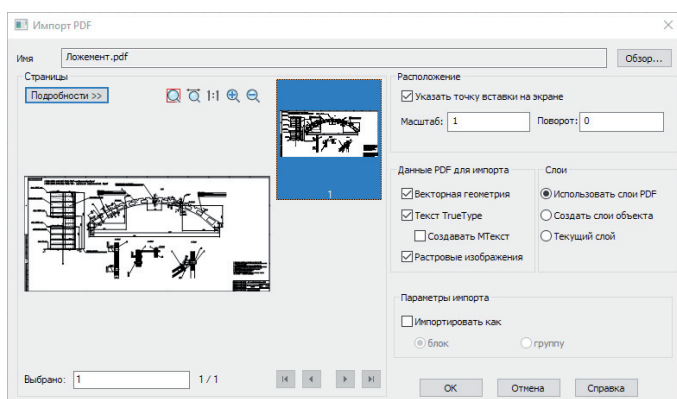


Рис. 2. Диалоговое окно **Импорт PDF**

После этого файл *Ложемент.pdf* загрузится в чертеж.

Добавление плоского эскиза и блокирование слоя

Чтобы приступить к отрисовке контура, необходимо сначала заблокировать слой и добавить плоский эскиз. Для блокирования слоя следует вызвать команду **СЛОЙ (layers)** либо в классическом интерфейсе (**Формат → Слой**), либо в ленточном (**Главная → Слой**) (рис. 3).

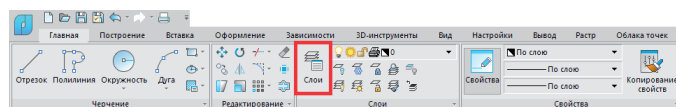


Рис. 3. Вызов команды **СЛОЙ** в ленточном интерфейсе (**Главная → Слой**)

После вызова команды **СЛОЙ** откроется диалоговое окно **Слой**, в котором есть слой **PDF_Геометрия** (рис. 4). Его нужно заблокировать, щелкнув левой кнопкой мыши (ЛКМ) на пиктограмме, изображающей замок. После этого слой заблокируется, а пиктограмма изменит цвет на серый (рис. 5).

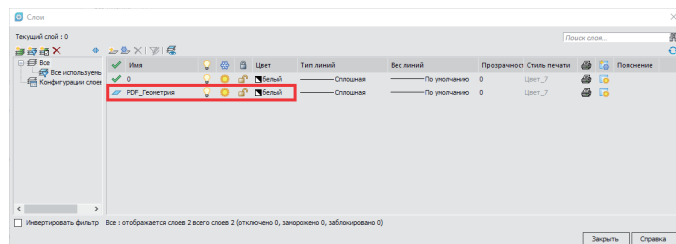


Рис. 4. Слой **PDF_Геометрия**

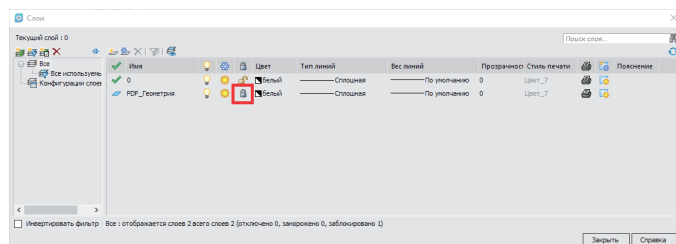


Рис. 5. Заблокированный слой

Когда слой заблокирован, можно приступить к добавлению плоского эскиза. Создайте новый эскиз, для чего вызовите

команду **НАЧАТЬ ЭСКИЗ** (*psadd*) либо в классическом интерфейсе (**3D** → **2D эскиз** → **Добавить плоский эскиз**), либо в ленточном (**3D-инструменты** → **2D эскиз** → **Добавить эскиз**) (рис. 6).

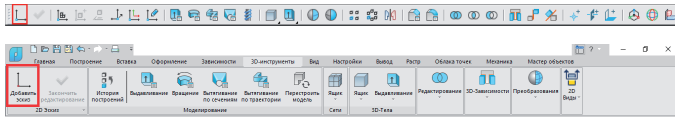


Рис. 6. Панель Вкладки 3D. Кнопка **Добавить эскиз**. Неактивный режим эскиза

После этого в командной строке появится возможность выбора плоскости мировой системы координат, в которой будет происходить черчение. Выберите плоскость **XY** (рис. 7).

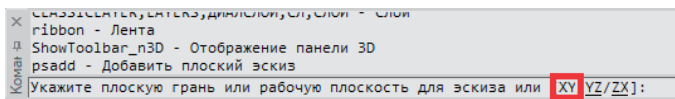


Рис. 7. Выбор плоскости эскиза

Дальнейшее черчение выполняется в режиме эскиза.

Черчение контура с использованием привязок

Для более удобной отрисовки контура следует включить привязки с помощью горячей клавиши **F3**. Выбор необходимых привязок, показанных синей рамкой (рис. 8), осуществляется щелчком правой кнопкой мыши (ПКМ) по кнопке **ОПРИВЯЗКА** в нижней панели.

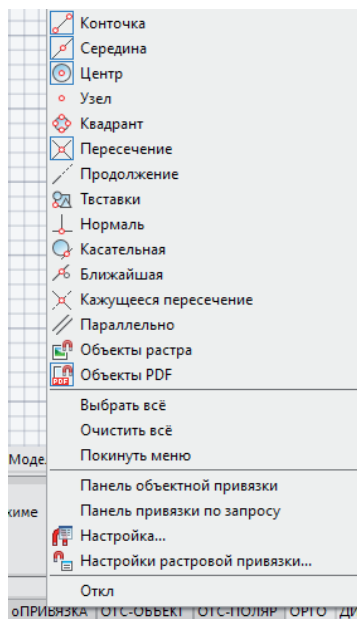


Рис. 8. Всплывающее меню кнопки **ОПРИВЯЗКА**

После того как все привязки выбраны, можно переходить к отрисовке эскиза по контуру ложемента. Отрисовка эскиза будет происходить при помощи отрезков, дуг и окружностей. Для данной модели планируется отрисовать один целостный контур — это делается для простоты и удобства, так как при последующем преобразовании контура в 3D-модель потребуется выполнить всего лишь одну операцию. Также отметим, что существует возможность создания нескольких эскизов, которые могут быть удобны при создании более сложных 3D-моделей. Эскиз ложемента должен выглядеть так, как показано на рис. 9.

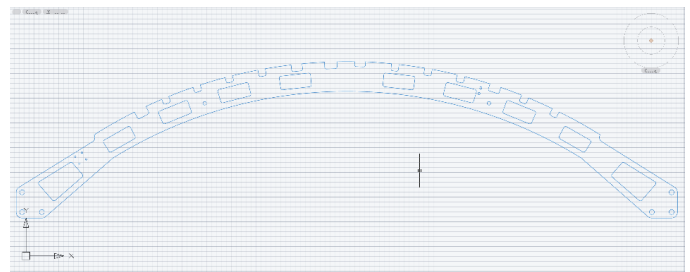


Рис. 9. Эскиз ложемента

После создания эскиза необходимо сделать контур замкнутым, для чего следует выделить весь эскиз секущей рамкой (нажать ЛКМ в свободном месте пространства модели → вести курсор справа налево → снова нажать ЛКМ в свободном месте пространства модели) и вызвать команду **СОЕДИНЕНИЕ** либо в классическом интерфейсе (**Редактирование** → **Соединение**), либо в ленточном (**Построение** → **Соединение**) (рис. 10). После этого нужно щелкнуть ЛКМ по контуру и проверить замкнутость контура в свойствах.

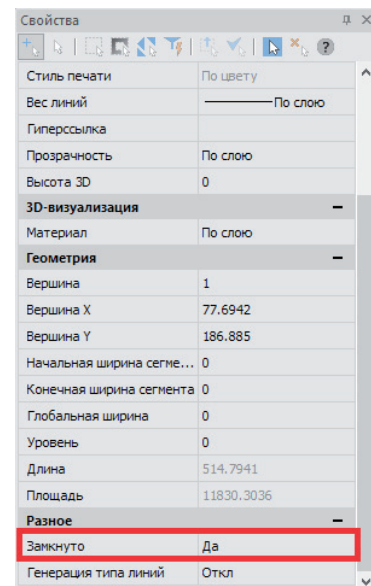
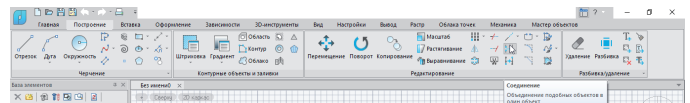


Рис. 10. Соединение контура и проверка его замкнутости

Для редактирования эскиза необходимо открыть панель **История 3D Построений** и дважды щелкнуть ЛКМ по созданному эскизу либо нажать ПКМ и выбрать в открывшемся меню команду **Редактировать**. Открыть панель **История 3D Построений** можно с помощью команды **ВКЛАДКА ИСТОРИЯ 3D ПОСТРОЕНИЙ** (*showtab3dhistorynet*) в классическом интерфейсе (**3D** → **История 3D Построений**) или в ленточном (**3D-инструменты** → **Моделирование** → **История построений**) (рис. 11).

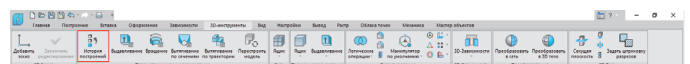


Рис. 11. Открытие панели **История 3D Построений**

После отрисовки контура следует зайти в диалоговое окно **Слой** и отключить слой **PDF_Геометрия**, нажав ЛКМ на пикто-

грамме горящей лампочки. Лампочка погаснет и слой будет отключен (рис. 12).

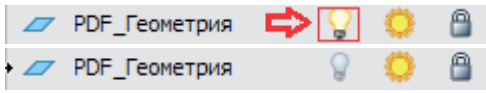


Рис. 12. Отключение слоя

Масштабирование отрисованных эскизов к исходному масштабу

Для ложемента на чертеже указан масштаб 1:5, масштаб эскиза пока что этому соответствует. Для приведения масштаба эскиза к необходимому (1:1) его нужно увеличить в пять раз при помощи команды *МАСШТАБ*. Чтобы обеспечить корректность масштабирования, заходим в редактирование эскиза через панель *История 3D Построений*, выделяем контур и вызываем команду *МАСШТАБ* (*scale*) либо в классическом интерфейсе (*Редактирование* → *Масштаб*), либо в ленточном (*Построение* → *Масштаб*). В командной строке будет предложено выбрать базовую точку (вводим 0,0,0 и нажимаем *Enter*), а затем масштаб (вводим цифру 5 и снова нажимаем *Enter*). В результате относительно координат 0,0,0 эскиз увеличится в пять раз (рис. 13).

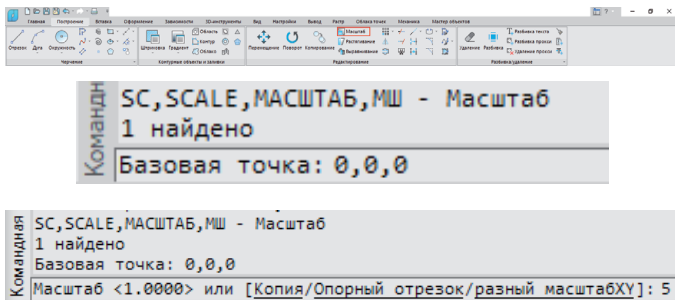


Рис. 13. Масштабирование

Результат проделанных действий можно видеть на рис. 14, а в интернете еще и при открытии прилагаемого к данному материалу файла *Создание эскиза.dwg*¹.

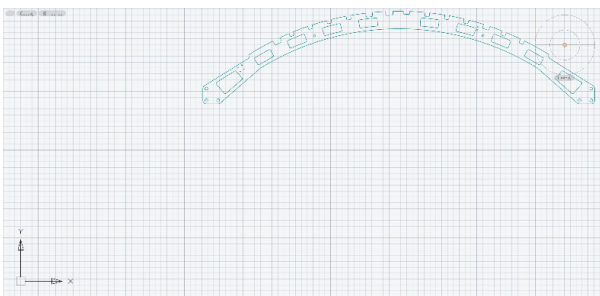


Рис. 14. Эскиз ложемента в масштабе

Создание 3D-модели детали

После приведения эскиза к исходному масштабу можно перейти к созданию 3D-модели. Для этого мы воспользуемся командой *Выдавливание* (*3dextrude*), вызвав ее либо в классическом интерфейсе (*3D* → *3D элементы* → *3D Выдавливание*), либо в ленточном (*3D-инструменты* → *Выдавливание*) (рис. 15).

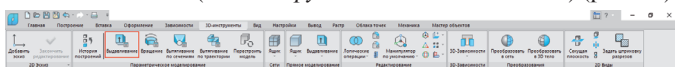


Рис. 15. Вызов команды *Выдавливание*

После вызова функции будет предложено выбрать эскиз (рис. 16). Выбираем эскиз и проставляем значения согласно рис. 17.

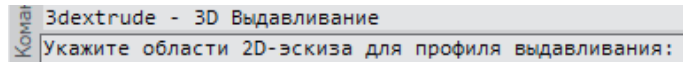


Рис. 16. Выбор эскиза

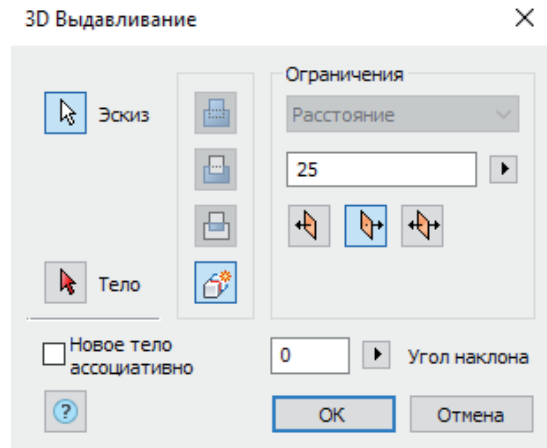


Рис. 17. Диалоговое окно *3D Выдавливание*

Проставив все значения, нажимаем *ОК*. 3D-модель создана, теперь нужно ее переименовать и преобразовать в деталь. Для этого заходим в панель *История 3D Построений*, щелкаем ПКМ по объекту *Тело(1)* и выбираем *Переименовать*. Вводим слово "Ложемент" и нажимаем *Enter*. Снова щелкаем ПКМ по объекту "Ложемент" и выбираем *Создать деталь*. После выполнения этой операции тело преобразуется в деталь (рис. 18). Создание именованной детали выполнено.

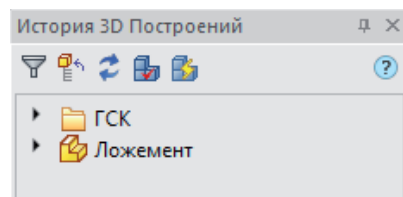


Рис. 18. Деталь "Ложемент" в панели *История 3D Построений*

Во избежание проблем, связанных с некорректной привязкой при дальнейшем создании сборки 3D-модели, деталь "Ложемент" необходимо зафиксировать. Для этого в панели *История 3D Построений* щелкаем ПКМ по детали "Ложемент" и в открывшемся меню выбираем *Фиксация*. В правом нижнем углу иконки детали появляется значок якоря (рис. 19).

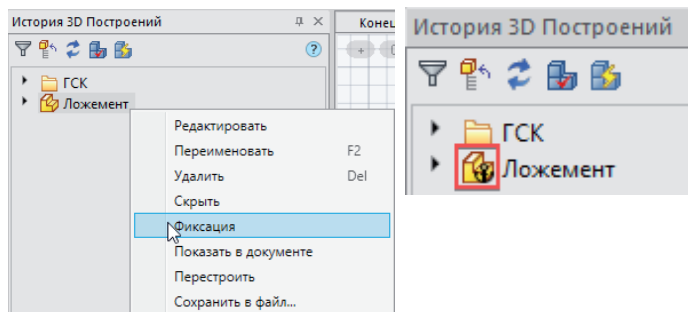


Рис. 19. Фиксация детали

¹ <https://clck.ru/RJT8K>.

После фиксации детали необходимо создать новую пользовательскую систему координат (ПСК) с началом в нижнем левом углу относительно детали "Ложемент". Это можно сделать с помощью команды *ПСКНАЧАЛО* (*SetUCSByPoint*). Вызываем ее либо в классическом интерфейсе (*Сервис* → *Новая ПСК* → *Начало*), либо в ленточном (*Вид* → *Координаты* → *ПСК, Начало*) (рис. 20).

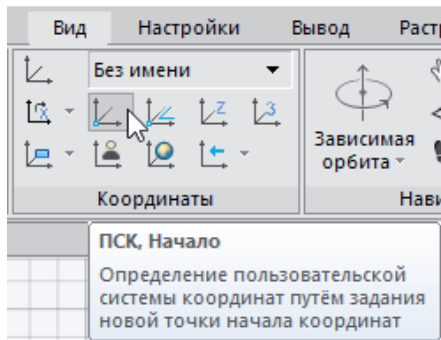


Рис. 20. Вызов команды *ПСК, Начало* в ленточном интерфейсе

После вызова команды выбираем точку в левом нижнем углу детали "Ложемент" (рис. 21) и нажимаем ЛКМ. Таким образом создается новая система координат, связанная с деталью.

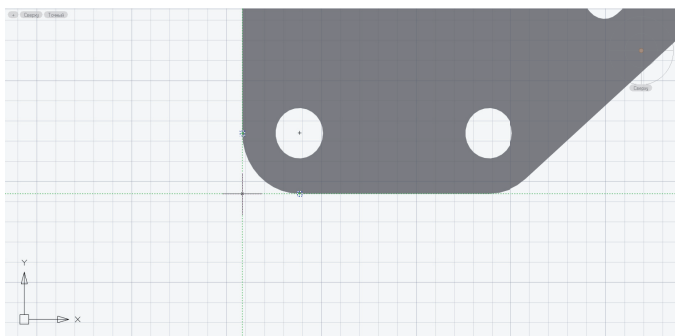


Рис. 21. Новая ПСК

Для удобства дальнейшей работы можно изменить цвет детали. В панели *История 3D Построений* дважды щелкаем ЛКМ по детали "Ложемент", в открывшейся вкладке *Редактор блоков* с помощью ЛКМ выбираем "Ложемент" в пространстве модели, переходим в панель *Свойства* и в выпадающем списке выбираем опцию *Цвет* → *Выбор цвета* (рис. 22). В диалоговом окне *Выбор цвета* определяем цвет с помощью палитры или номера цвета (рис. 23) после чего нажимаем *ОК*, *Сохранить блок* и *Закреть редактор блоков* (рис. 24). Подобные действия можно выполнять и с другими деталями.

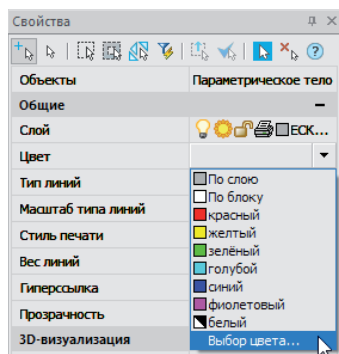


Рис. 22. Выбор цвета в панели *Свойства*

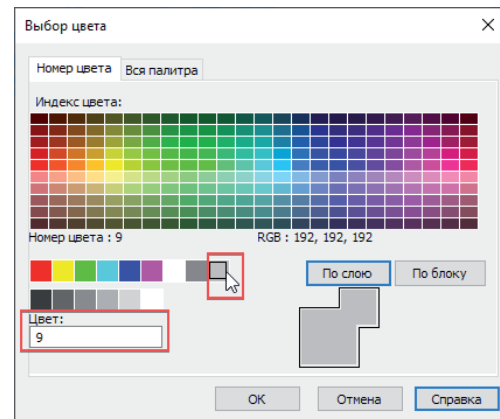


Рис. 23. Диалоговое окно *Выбор цвета*

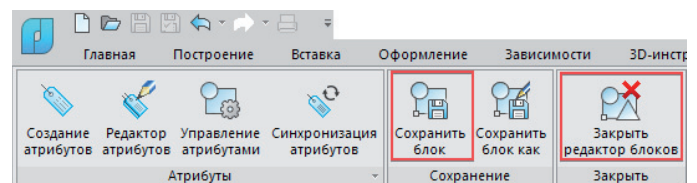
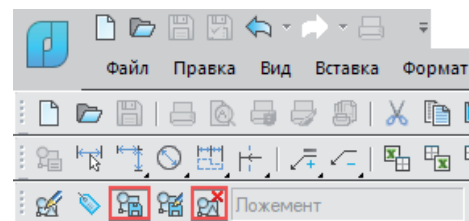


Рис. 24. Сохранение и закрытие редактора блоков

Результат выполнения действий, представленных в этой главе, можно видеть на рис. 25, а в интернете еще и при открытии прилагаемого к данному материалу файла *Создание 3D модели детали.dwg*².

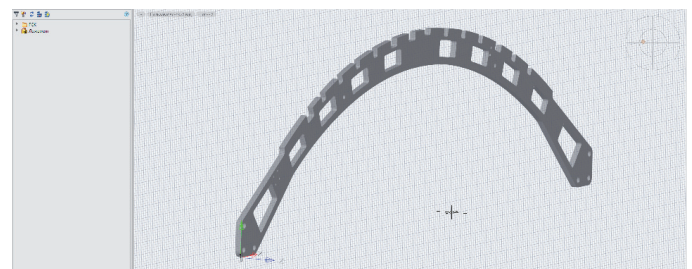


Рис. 25. Деталь "Ложемент"

В следующей статье мы рассмотрим создание 3D-модели сборки на основе созданной 3D-модели детали.

Георгий Глазков,
Константин Минаев
АО "CuSoft"
E-mail: glazkov.georgiy@csoft.ru,
minaev.konstantin@csoft.ru



² <https://click.ru/RJSR3>.



➤ TECHNOLOGICS 7.9 – ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ

Новые времена приносят нам новые вызовы, рождают новые трудности, но в них же зачастую кроются и новые возможности. Еще в 2018 году Президентом РФ была обозначена необходимость скорейшего перехода к цифровым производствам и построения цифровой экономики. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 года "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" официально утвердил первые шесть задач национальной программы "Цифровая экономика" и дал ей старт. Но только в 2020 году на фоне глобальной эпидемии коронавируса и введения режима самоизоляции большинство из нас смогло на собственном опыте почувствовать, что значат эффективные ИТ-сервисы в современном мире. И речь

здесь идет не столько о сервисах доставки еды, дистанционном обучении, доступе к развлекательному контенту, сколько об эффективных механизмах управления распределенными командами специалистов и о цифровых способах контроля и управления производством. По сути дела, наличие подобных инструментов во многом предопределило, насколько легко компании удастся перенести ограничения, появившиеся в связи с эпидемией.

Система TechnologiCS как цифровая платформа автоматизации процессов подготовки, планирования и управления производством появилась задолго до коронавируса. История развития этого программного продукта насчитывает долгих 30 лет, на протяжении которых он прирастал функционалом, а разработчики с ростом числа внедрений обретали

столь необходимый опыт и получали дальнейшие импульсы к развитию. Минувший год не стал исключением. Система продолжала активно развиваться. К имевшимся ранее алгоритмам планирования добавились продвинутые алгоритмы оптимизации, а также небольшие прототипы самообучающихся систем для решения задач расчета плана производства (см. "Современные алгоритмы планирования в TechnologiCS. Первый шаг на пути к нейросетям и самообучающимся системам", CADmaster, №2 (90), 2019 г.). Изменения коснулись и привычных пользователям модулей, например, адресованных конструкторам (см. "Интеграция PDM-системы TechnologiCS с CAD-системами", CADmaster, №1 (89), 2019 г.). Кроме того, совместно с нашими партнерами был реализован ряд разработок, позволивших охватить



Единая информационная система

принципиально новые для TechnologiCS функциональные области и тем самым сформировать законченную цепочку автоматизации – от зарождения идеи через процессы проектирования, подготовки и планирования производства, непосредственно производства продукции до сдачи ее заказчику и сопровождения на этапе эксплуатации.

В этой статье мы расскажем как о ранее существовавших, так и о новых функциональных модулях в экосистеме TechnologiCS, которые помогают нашим клиентам еще ближе подойти к реализации концепции "Индустрии 4.0".

TechnologiCS на протяжении всей истории своего развития был и остается единой системой с единой базой данных. Это обеспечивает сотрудникам различных подразделений компании доступ к информации и функциональности, необходимой для решения локальных задач в рамках общего процесса. Появившиеся в системе данные сразу же становятся доступными на всех этапах подготовки и управления производством (безусловно, с учетом прав доступа). Таким образом, все пользователи всегда работают с актуальной информацией, нет необходимости дополнительно конвертировать ее при передаче из одной подсистемы в другую, что чревато риском возникновения задержек и ошибок.

Преимущества единой базы данных не раз подтверждались в условиях реальной производственной деятельности, когда идет постоянный поток изменений, направляемых от конструкторов и технологов в сторону производства, и встречных запросов на допуск отклонений, на применение замен, на анализ брака от производства, высылаемых в сторону инженерных служб.

Основными реализованными и ранее неоднократно внедренными функциональными модулями системы TechnologiCS являются:

- модуль ведения справочников и нормализации основных данных (MDM);
- модуль управления проектами по постановке новой продукции на производство, внедрению инноваций, детализации их до уровня работ и заданий с возможностью последующего контроля исполнения (Project Management);
- модуль управления данными об изделиях (PDM), который осуществляет следующие функции:
 - ведение различных вариантов состава изделия (BOM) – конструкторского, технологического, сборочного;
 - обеспечение работы конструктора со всеми функциями системы

непосредственно из его среды проектирования посредством панелей TechnologiCS, встроенных в наиболее часто применяемые машиностроительные CAD-системы;

- работа со структурой изделия (детали, сборочные единицы, материалы и т.д.), а также с технической документацией, относящейся к изделию;
- организация электронного архива и электронный документооборот;
- обеспечение доступа к централизованному структурированному хранилищу документов;
- управление правами доступа к информации и документам;
- управление жизненным циклом и состоянием документов;
- модуль технологической подготовки, представляющий из себя встроенную САПР технолога (CAPP). Основными функциями этого модуля являются создание технологических процессов, расчет параметров и условий обработки, трудовое и материальное нормирование;
- модуль формирования итоговой информации об изделиях, включая сводные материальные и трудовые нормы. Основной задачей этого мо-

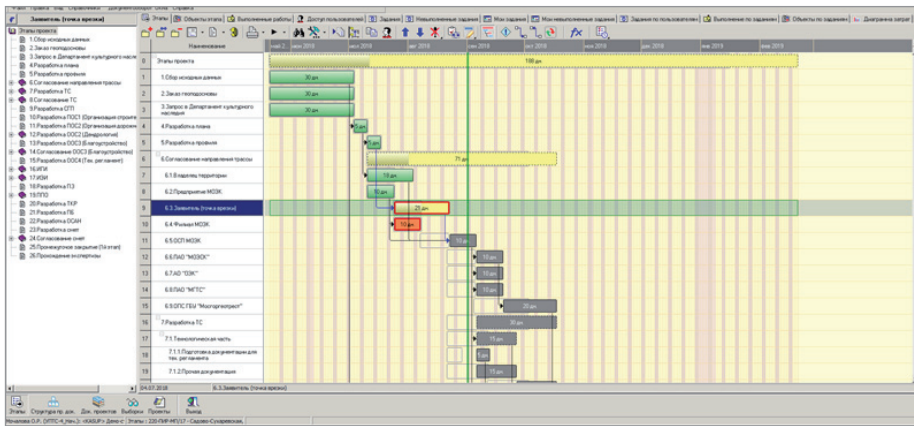


График подготовки производства

дуля является разувязание изделия и построение широкого спектра сводных отчетов, содержащих в себе как конструкторскую, так и технологическую информацию;

■ подсистема планирования и управления производством, состоящая из:

- модуля управления заказами, обеспечивающего взаимодействие с заказчиками, формирование плана поставок, прослеживаемость заказа в производстве;
- модуля построения производственной программы (MPS), формирующего программу производства на определенные пери-

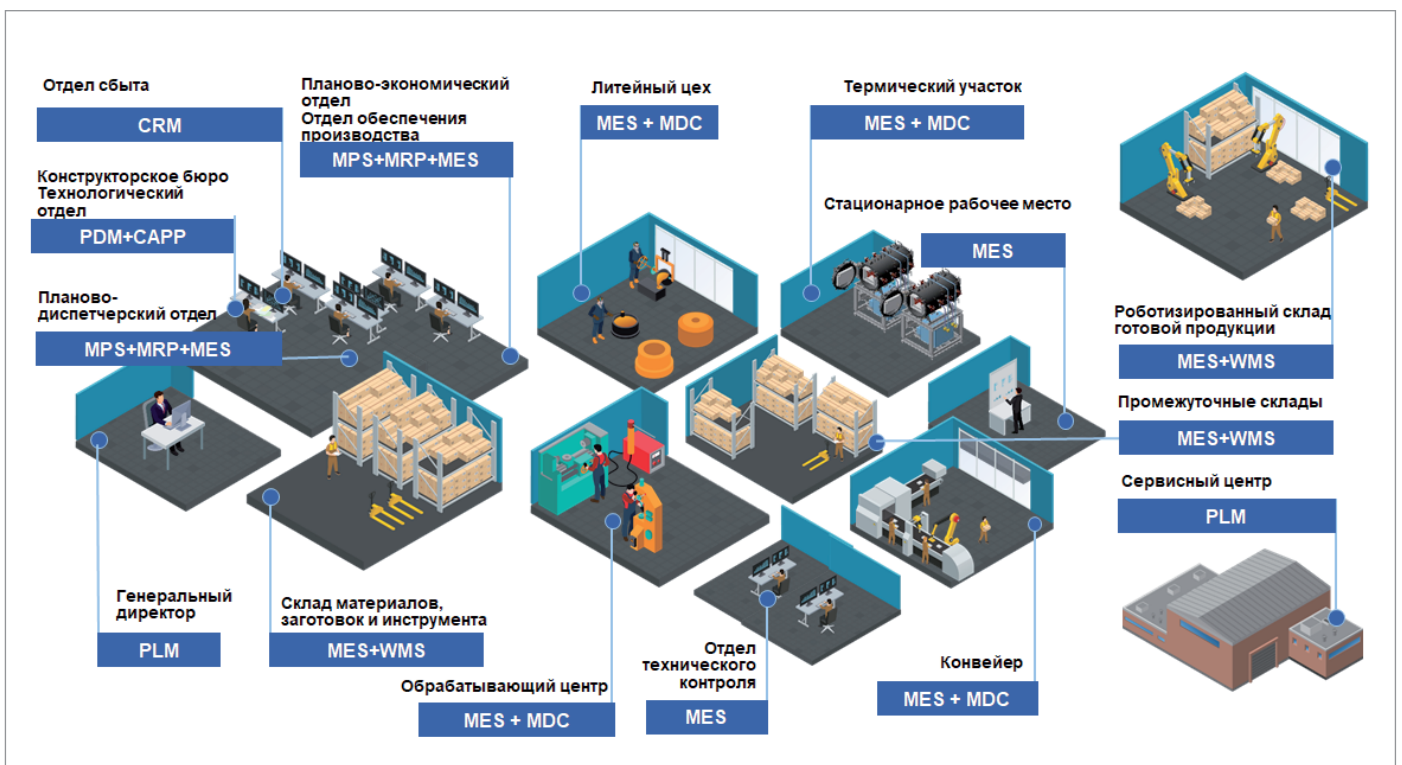
оды, исходя из видов выпускаемой продукции и существующих заказов (как утвержденных, так и перспективных);

- модуля планирования производственных ресурсов (MRP), предназначенного для формирования производственных планов подразделений, а также для расчета планов обеспечения производства требуемыми ресурсами (материалами, инструментом и т.д.);
- модуля управления производством (MES), обеспечивающего управление и контроль производства в режиме реального времени,

оптимизацию производственных потоков, контроль загрузки оборудования, партионный учет, прослеживаемость использования ресурсов в производстве;

- модуля управления складами (WMS), обеспечивающего контроль и учет перемещений материально-технических ресурсов;
- модуля управления качеством;
- модуль управления ремонтами оборудования. Основными задачами этого модуля являются расчет планов проведения ТО и ППР (технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов) на основе текущего плана производства продукции и загрузки каждой единицы оборудования, актуализация планов ТО и ППР с учетом фактической наработки оборудования, формирование планов обеспечения материалами и запчастями для проведения ТО и ППР, учет фактически выполненных работ в рамках ТО и ППР;
- модуль управления данными жизненного цикла продукции, обеспечивающий ведение истории по каждой единице выпущенной продукции.

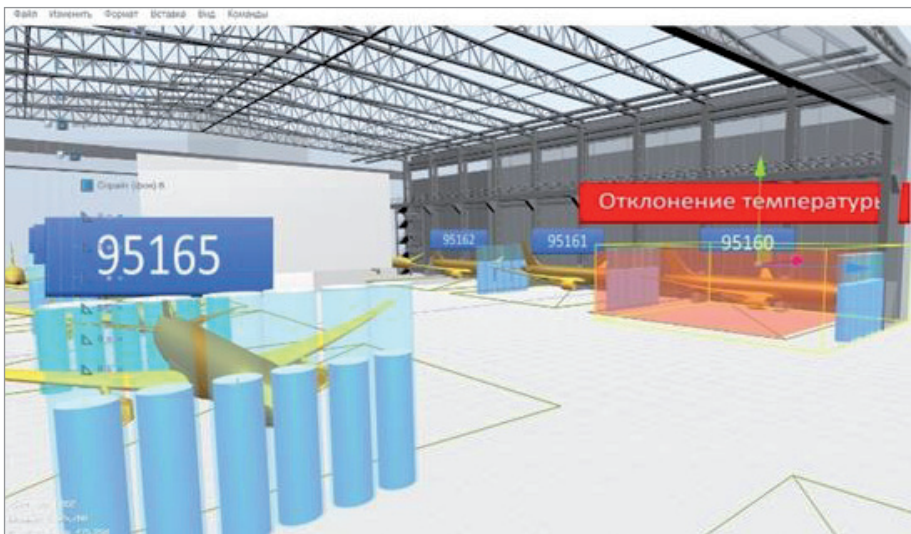
Все перечисленные модули, если рассматривать их вместе, составляют единую систему подготовки, планирования и управления производством.



Цифровой завод на базе TechnologiCS



Информация из TechnologiCS в дополненной реальности



Контроль за производством в режиме онлайн



Детальный отчет о работе оборудования

TechnologiCS-MDC

Главным нововведением является модуль MDC (Machine Data Collection), который служит для подключения оборудования к общему контуру управления предприятием и сбора данных со станков с ЧПУ (Heidenhain, FANUC, SIEMENS и многие другие). Его возможности не ограничиваются только станками: подключиться можно практически к любому оборудованию, создающему выходные цифровые сигналы, — например, к моментным ключам для сбора логов о величине момента затяжки для соотнесения с выполняемой операцией, к тепловым печам со сбором информации о температурных режимах, к климатическим установкам и т.д.

Функционал модуля расширяется за счет создания интерактивных 3D-моделей (либо модулей дополненной реальности) производственных площадок с широкими возможностями настройки логики отображения реальных процессов, а также построения элементов аналитики производственных процессов. Каждый объект модели можно привязать непосредственно к сигналам от реальных объектов — станков, инженерных систем, антенн считывающих устройств, устройств контроля доступа. Таким образом, изменения, вносимые на производстве, будут в режиме реального времени отображаться в модели. Интерактивная 3D-модель в связке с новым функционалом по отслеживанию RFID- и BLE-меток помогает также визуализировать местонахождение активов и материальных ценностей: дорогостоящего инструмента, материалов, сотрудников.

Модуль MDC предоставляет возможность получить информацию для решения множества кейсов, к которым ранее невозможно было подступиться.

- Данные аналитики по отслеживанию состояний и фактического изготовления, а также фактической загрузки оборудования помогают актуализировать расчеты внутрицехового планирования, скорректировать временные нормы операций по их фактическому изготовлению.
- Оценка полезной работы оборудования предоставляет возможность выявить "узкие места" производства или, наоборот, недогруженное оборудование, рассчитать различные KPI работы производственных площадок — например, широко используемый показатель OEE.



Диаграмма перемещения продукции на основе данных, собранных с меток

- Мониторинг работы оборудования позволяет выявить причины простоев, аккумулируя данные о состоянии станков вкуче с вводимыми с рабочих терминалов данными о причинах простоя или прерываний. Сравнение состояний можно проводить для различных периодов работы с целью анализа тенденций в использовании оборудования.
- Сравнительный анализ режимов резания и длительности выполнения операций помогает выявить проблемы в технологии или трудовой дисциплине. Сравнение идет поквартально по скорости резания и подачи и создает автоматический отчет по требуемым для анализа операциям в привязке к станкам или персоналу. Кроме того, существует возможность ручного сравнения файлов выполненных операций с подсветкой мест расхождения для определения критических мест в технологии.
- Анализ состояния станков позволяет создавать предиктивные модели технического состояния станков, что обеспечивает переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию и тем самым сокращает затраты на дорогостоящий ремонт в случае незапланированного выхода оборудования из строя.
- В дополнение к этому — настраиваемые оповещения о поломках для вызова сервисного инженера, об изменении состояния оборудования, об окончании обработки партии — посредством широкого спектра коммуникационных средств: SMS, внутренней почты, сообщений на внешнюю почту.

- Мониторинг состояний станков позволяет получить точные данные о наработке инструмента, а вкуче с использованием рабочих терминалов для его регистрации предоставляет возможность поштучного учета времени работы для наиболее критичных инструментальных позиций.

TechnologiCS-INV

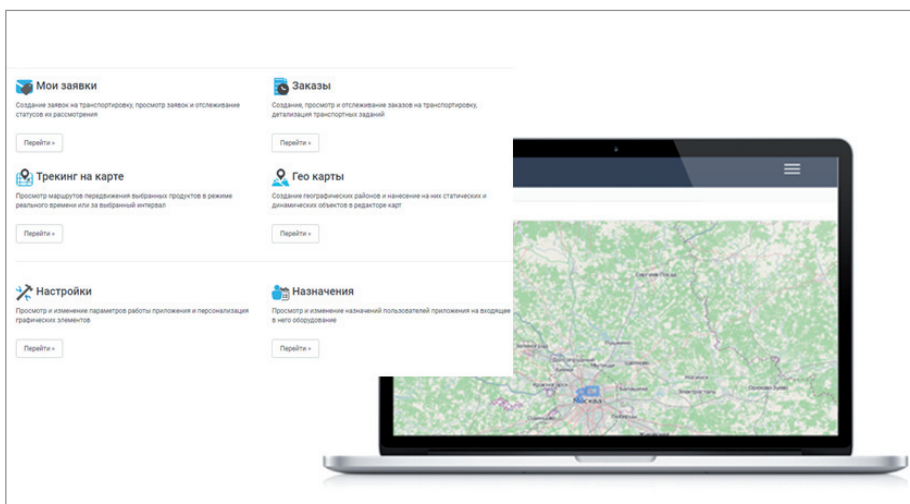
Теперь контроль за перемещением активов предприятия можно осуществлять не только через систему штрихкодирования или ручной контроль, но и при помощи RFID- и BLE-меток. Новые методы контроля обеспечивают повышение прозрачности маршрутов движения ресурсов, деталей и сборочных единиц в производстве, их местонахождения, определения масштабов незавершенного производства для анализа сроков изготовления текущих или будущих заказов. В связке с функционалом MES+WMS, уже присутствующим в системе, это по-

зволяет при внедрении на производстве реализовать следующие кейсы:

- повысить прозрачность и контроль местонахождения заготовок, материалов, дорогостоящего инструмента, точек пролеживания, построить диаграммы Спагетти для контроля логистических цепочек;
- получать информацию о фактическом прохождении изготавливаемой продукции по контрольным точкам, что позволяет оценить незавершенное производство и сроки отгрузки заказов. При этом прохождение контрольных точек может быть продублировано на интерактивной 3D-модели производственной площадки для визуального контроля интересующих точек;
- осуществлять быструю автоматическую инвентаризацию помеченных активов благодаря скорости считывания меток, в том числе при помощи направленного поиска по сигналу от метки;
- контролировать средства хранения информации, как цифровые, так и бумажные в виде чертежей или других документов. Эти меры позволяют определять местонахождение носителей и отслеживать их перемещение между контролируруемыми зонами;
- контролировать наличие требуемого с точки зрения безопасности на производстве экипировки персонала, осуществлять контроль зон местонахождения сотрудников.

TechnologiCS-MAPS

В дополнение к существующему функционалу встроенной WMS-системы TechnologiCS добавлено отслеживание грузов и перемещений посредством



Функционал модуля TechnologiCS-MAPS



Новые уровни аналитики на базе TechnologiCS

GPS- и GSM-сетей с поддержкой большинства популярных трекеров. Это позволяет контролировать перемещение активов не только в рамках производственной площадки, но и в оставшейся части логистической цепочки. Функционал обеспечивает возможность осуществлять выдачу и прием заданий на перевозку, контроль выполнения заказов, принимать сигналы о текущем скоростном режиме и уровне топлива в транспортном средстве. Встроенные offline-карты позволяют в режиме реального времени видеть местонахождение грузов, строить маршруты перевозок со сравнительным расчетом расходов на транспортировку, а также разносить эти затраты непосредственно по заказам.

Возможности карт можно дополнять интерактивной составляющей: выделять сектора, проставлять точки контроля в виде маркеров, связывать их с различными внешними сигналами (сигналами с оборудования или инженерных систем, потокового видео системы видеомониторинга), а также добавлять виджеты со сводной аналитической информацией. Это позволяет в режиме реального времени визуально контролировать функционирование распределенных производственных площадок на интерактивных картах.

Еще один из возможных способов применения карт в связке с метками – полу-



чение картины межцеховых или внутрицеховых перемещений материалов или ДСЕ путем нанесения графа путей на карты местности или на схему цеха. Эта информация позволяет выявить наиболее часто используемые маршруты и оптимизировать технологические процессы изготовления деталей в целях снижения транспортных и временных издержек.

С появлением рассмотренного функционала в TechnologiCS можно смело говорить о том, что теперь вся цепочка задач в рамках жизненного цикла продукции может быть автоматизирована на базе одной платформы. При этом как никогда ранее формируется полный цифровой двойник предприятия. В текущих непростых условиях система позволяет сделать все процессы предприятия не только прозрачными и контролируруемыми, но и управляемыми из любой точки земного шара. К тому же данный функционал обеспечивает возможность под иным ракурсом посмотреть на проблемы использования производственных мощностей, трудовой дисциплины, логистики, способов анализа имеющейся информации, найти новые точки взрывного роста и повышения эффективности производства на пути к цифровому будущему и "Индустрии 4.0".

*Евгений Иванов,
аналитик отдела
инженерного консалтинга
АО "CuSoftm"*

*Борис Бабушкин,
директор отдела
инженерного консалтинга
АО "CuSoftm"*



ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ЛИТЬЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ: НОВАЯ ВЕРСИЯ Moldex3D 2020

Современный рынок диктует высокие требования к литьевым изделиям из термопластов. Однако для получения качественной продукции при сохранении ее конкурентной себестоимости необходимо учитывать потенциальное негативное влияние конструкции литьевого изделия и литьевой формы, а также особенностей литьевого оборудования и термопластичного материала на поведение термопласта при переработке и эксплуатации. Продукты Moldex3D компании CoreTech System включают программные средства и базу данных для инженерных расчетов литья термопластичных материалов под давлением и специальных технологий литья [1-2]. Математическое 3D-моделирование технологического процесса и прогнозирование проблем проводится в этих продуктах с использованием метода конечных объёмов [3].

В новой версии, которая получила название Moldex3D 2020, расширены возможности учета влияния факторов конструкции, технологии и материалов на процесс литья, подготовки модели литьевого изделия и литьевой формы для расчета, задания условий и оценки результатов [4-5]. Для новой версии подготовлен русскоязычный пользовательский интерфейс. Ниже рассмотрены некоторые нововведения, реализованные в версии Moldex3D 2020.

Влияние ориентации волокнистого наполнителя на течение расплава

Одним из приоритетных направлений развития продуктов Moldex3D является совершенствование инженерных расчетов для литья под давлением изделий из композиционных термопластичных материалов, содержащих стекловолокно, углеродное волокно или другие волокнистые наполнители. Продукты

Moldex3D позволяют спрогнозировать разрушение частиц волокна в процессе переработки (в материальном цилиндре термопластавтомата и литьевой форме), неравномерную концентрацию и ориентацию волокна при течении расплава, которые определяют неоднородность и анизотропию механических и других свойств композитов, технологической усадки, а также коробление и остаточные напряжения. Расчеты могут проводиться для короткого, длинного и плоского волокна (литьевые композиции термопластов с плоским стекловолоконным выпускаются рядом зарубежных компаний).

Расплавы термопластов, содержащих волокнистые наполнители, относятся к анизотропным жидкостям [6], так как их реологические свойства зависят от направления. Эффективная (сдвиговая) вязкость расплава в направлении преимущественной ориентации волокна су-

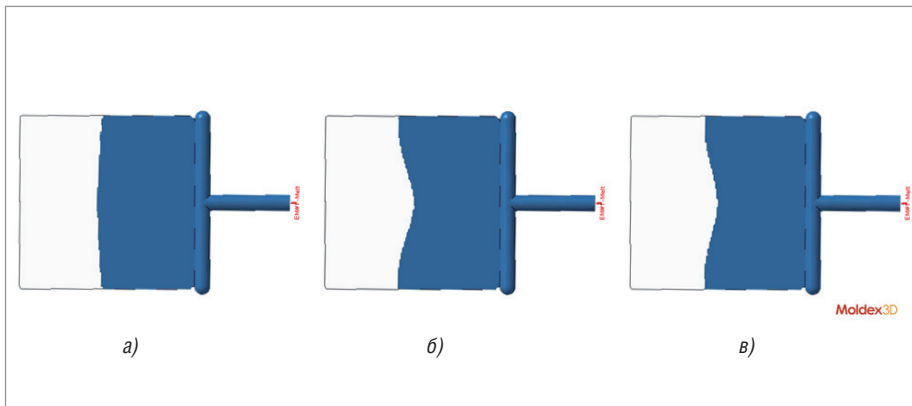


Рис. 1. Влияние форм-фактора (L/D) и содержания (C) короткого (а, б) и длинного (в) стекловолокна на процесс заполнения для пластины: $L/D = 20$, $C = 5\%$ вес (а); $L/D = 20$, $C = 30\%$ вес (б); $L/D = 100$, $C = 5\%$ вес (в); L – длина волокна; D – диаметр волокна; расчет в Moldex3D

щественно больше, чем в перпендикулярном направлении. Еще больше ориентация волокна влияет на анизотропию продольной вязкости, которая измеряется при элонгационном течении (течении-растяжении) расплава. Поэтому в литевом процессе не только течение расплава вызывает определенную ориентацию частиц волокнистого наполнителя, но и ориентация волокна влияет на растекание расплава в оформляющей полости на стадии впрыска.

В Moldex3D учитывается влияние ориентации волокнистого наполнителя на анизотропную вязкость расплава с использованием модели Фавароло-Пайпса (Favarolo-Pipes, IISO, Informed ISOTropic) [7] и ее модифицированного варианта (revised IISO) [8]. Исследования показали, что модель Фавароло-Пайпса больше соответствует условиям прессования, тогда как при литье термопластичных композиций под давлением лучшее соответствие с экспериментальными результатами дает модифицированная модель.

В версии Moldex3D 2020 улучшенный метод моделирования течения для расплавов композиций термопластов с волокном (Extended full flow-fiber coupling) позволяет спрогнозировать влияние анизотропной вязкости на процесс заполнения с учетом длины и концентрации частиц волокна. На рис. 1 представлены результаты расчета в Moldex3D положения фронта расплава на стадии заполнения с применением этого метода и модифицированной модели Фавароло-Пайпса для композиций с коротким и длинным стекловолном. Увеличение содержания или форм-фактора волокнистого наполнителя усиливает влияние анизотропной вязкости на растекание расплава в оформляющей полости при впрыске.

Учет момента выталкивания отливки

От версии к версии в продуктах Moldex3D совершенствуется расчет коробления, технологической усадки и остаточных напряжений при литье термопластов под давлением. Наряду с другими факторами, влияющими на эти характеристики напряженно-деформированного состояния литьевого изделия, большое значение имеют условия охлаждения усадки в закрытой форме, а также выталкивания отливки из формы.

Охлаждение изделия в литевой форме может быть смоделировано в Moldex3D при стационарных или нестационарных условиях. Для стационарных условий охлаждения учитывается средняя температура участка оформляющей поверхности в литевом цикле при определенном распределении температуры от участка к участку, которое зависит от конструкции отливки, системы нагрева-охлаждения, материалов литевой формы и технологического режима литья (температуры расплава и формы, скорости впрыска, расхода и температуры хладагента, времени цикла и пр.). При нестационарных условиях охлаждения, кроме того, учитывается изменение температуры каждого участка оформляющей поверхности в цикле литья. Температура оформляющей поверхности увеличивается на стадии заполнения благодаря теплу, поступающему от расплава, и снижается при подпитке и охлаждении отливки в закрытой форме.

Согласно современным представлениям, линейная усадка отливки в закрытой форме происходит только в направлении толщины стенки изделия [9]. Усадка в направлении длины и ширины области изделия невозможна из-за геометриче-

ских ограничений и сил сцепления отливки с оформляющей поверхностью. Образующийся при усадке в направлении толщины стенки воздушный зазор между изделием и оформляющей поверхностью снижает скорость охлаждения. В пределах воздушного зазора происходит коробление отливки в форме. Усадка и коробление в форме, наряду с процессом релаксации напряжений, уменьшают напряженное состояние отливки, которое возникает при ее охлаждении от температуры расплава до температуры формы.

После извлечения отливки из формы снимаются ограничения для усадки в направлении длины-толщины (неравномерность усадки вызывает коробление), и происходит соответствующее снижение напряженного состояния изделия, а процесс охлаждения изделия до температуры окружающей среды продолжается на воздухе.

В период от начала раскрытия литевой формы до выталкивания реализуются особые условия охлаждения изделия, поскольку остается контакт его поверхности с подвижной частью формы, тогда как противоположная часть поверхности изделия охлаждается воздухом. В этот период сохраняются ограничения для линейной усадки со стороны подвижной полуформы, в то время как со стороны неподвижной полуформы этих ограничений нет, что вызывает соответствующее изменение напряженно-деформированного состояния отливки.

В версии Moldex3D 2020 добавлена возможность моделирования охлаждения и напряженно-деформированного состояния отливки после открытия формы при контакте изделия только со стороны подвижной полуформы. Для этого при задании технологического режима необходимо указать время начала выталкивания отливки.

3D-модель инжекционного узла

Температура расплава оказывает большое влияние на процесс литья термопластов под давлением. Однако экспериментальные исследования показывают, что фактическая температура расплава не только существенно изменяется по длине дозы впрыска и в радиальном направлении, но и значительно повышается в процессе впрыска из-за диссипативного выделения при адиабатическом сжатии расплава (в соответствии с увеличением давления), а также его сдвигом течением [10]. Температура расплава в дозе впрыска резко снижает-

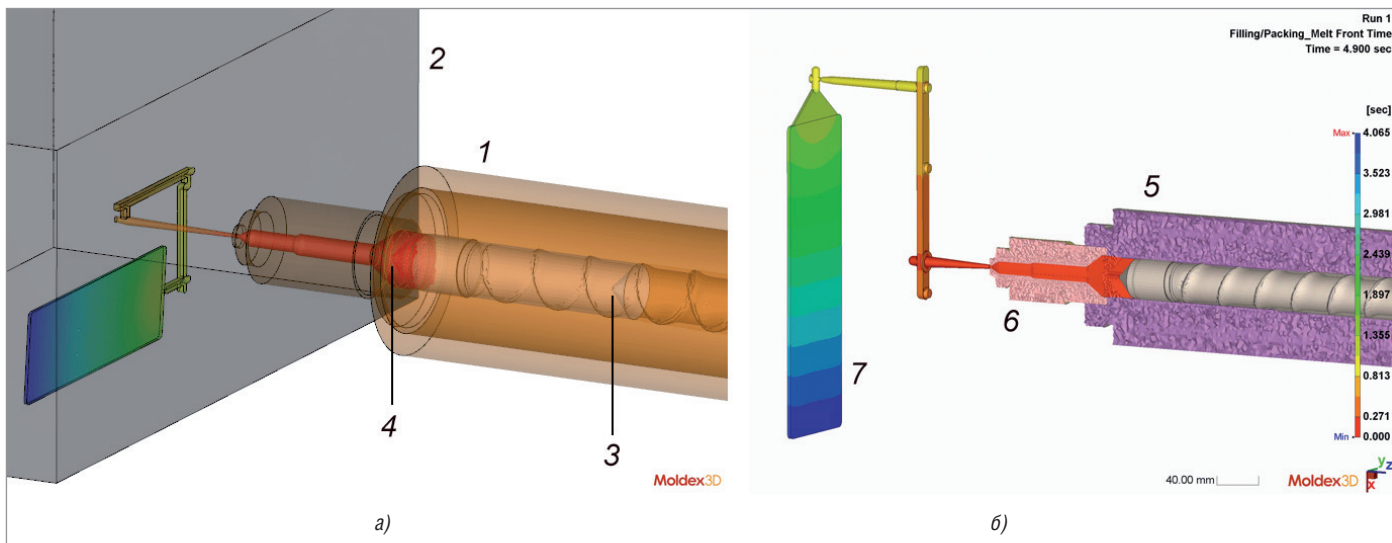


Рис. 2. Фрагмент 3D-модели (а, б) инжекционного узла (1) литьевой машины и литьевой формы (2); 3 – положение шнека перед началом впрыска; 4 – положение шнека после окончания выдержки под давлением; 5 – фрагмент "разлома" материального цилиндра с сеткой твердотельных элементов; 6 – "разлом" сопла литьевой машины с сеткой твердотельных элементов; 7 – оформляющая полость литьевой формы; показаны результаты расчета продвижения фронта потока расплава на стадии заполнения

ся после отвода сопла (из-за отсутствия контакта сопла с литьевой формой) и повышается после его подвода.

В новой версии Moldex3D 2020 учет влияния состояния расплава в дозе впрыска на стадии заполнения и подпитки может проводиться с использованием твердотельной модели инжекционного узла литьевой машины (рис. 2). 3D-модель инжекционного узла литьевой машины включает материальный цилиндр, шнек, обратный клапан шнека, сопло и так называемую область сопла, состоящую из заполненных расплавом отверстия сопла и предшнековой области материального цилиндра.

Учет вязкоупругости расплава

Расплавы литьевых термопластичных материалов обладают вязкоупругостью, т.е. сочетают свойства жидкости (вязкость) и твердого тела (упругость, которую также называют эластичностью). Эластичность расплавов термопластичных материалов оказывает большое влияние на их поведение при литье под давлением. Повышение эластичности расплавов термопластов в общем случае может приводить к существенному увеличению потерь давления при их течении в каналах, что аналогично влиянию повышенной вязкости. Высокая эластичность расплавов увеличивает разбухание начальной струи расплава, образующейся при входе фронта потока из впускного литникового канала в оформляющую полость, тем самым снижая

опасность обширного струйного заполнения.

Влияние эластичности расплавов при математическом моделировании в Moldex3D можно учесть с помощью нескольких реологических уравнений состояния (моделей вязкоупругости). В новой версии к ним добавлены модели нелинейной вязкоупругости XPP (eXtended Pom-Pom) и Ларсона (Larson), широко применяемые в технологических задачах.

Для оценок влияния вязкоупругости на потери давления и продвижение фронта расплава при впрыске в версии Moldex3D 2020 можно использовать упрощенный подход на основе понятия обобщенной вязкости, являющейся комбинацией эффективной и продольной вязкости [6].

Моделирование уплотнения и охлаждения отливки в литьевой форме

В версии Moldex3D 2020 применена новая методология прогнозирования затвердевания термопластичного материала при охлаждении и объемных изменений после затвердевания, вызванных охлаждением [5]. Изменение объема отливки после затвердевания рассчитывается на основе коэффициентов линейного термического расширения термопластичного материала.

Новая методология позволяет точнее определить момент "отключения" оформляющей полости литьевой формы

от материального цилиндра литьевой машины, соответствующий окончанию стадии уплотнения отливки, повысить точность прогнозирования объемной усадки и, соответственно, коробления, технологической усадки и остаточных напряжений.

Подготовка модели литьевого изделия и литьевой формы

Типичными элементами конструкции литьевых изделий являются скругления, применяемые для обеспечения равномерности и снижения концентрации напряжений (в углах изделия и пр.). Однако скругления, фаски, мелкие ребра и отверстия затрудняют построение поверхностной сетки, которая используется для создания твердотельной сетки.

В версии Moldex3D 2020 расширен инструментарий пре-/постпроцессора Studio для автоматического и полуавтоматического устранения дефектов поверхностной сетки. Новинками являются удаление граней (Delete face), восстановление отсутствующей криволинейной поверхности с применением направляющей кривой (Bridge curve) (рис. 3), сшивание (Sew) и локальное сшивание (Local sew) областей с разрывами. При устранении дефектов поверхностной сетки может быть полезна функция создания кривых на основных линиях поверхностей (Extract edge curve). Использование твердотельной модели литниковых каналов позволяет повысить точность расчета благодаря учету

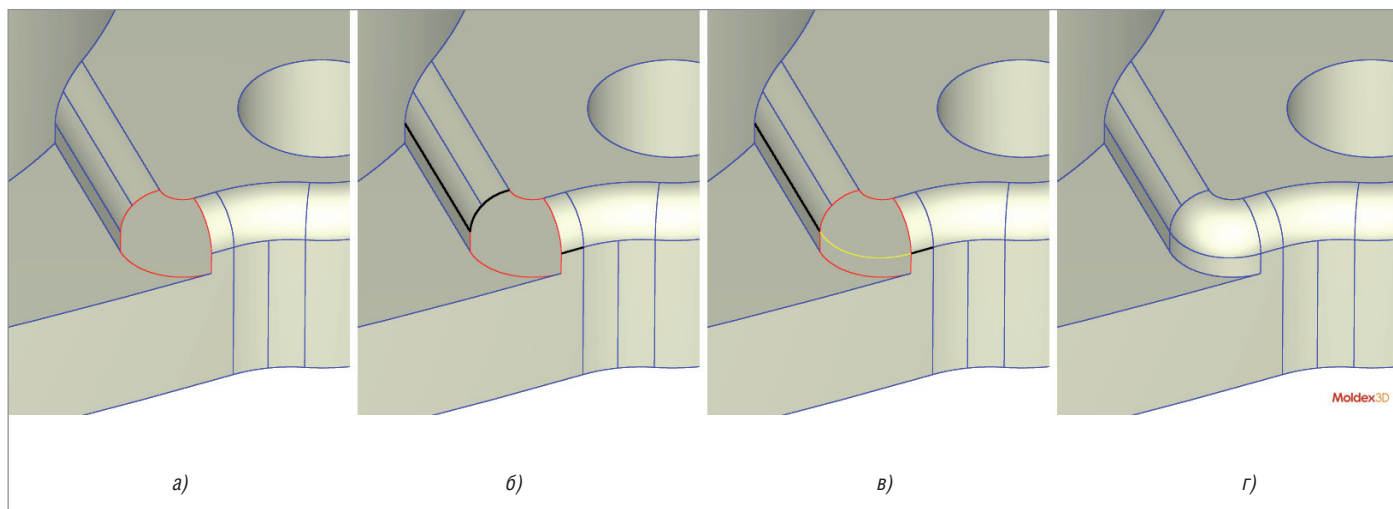


Рис. 3. Последовательные этапы создания криволинейной поверхности с применением направляющей кривой: модель с отсутствующей поверхностью (границы выделены красным цветом) (а); создание кривых на основных линиях поверхности(созданные кривые показаны черным цветом) (б); создание направляющей кривой (показана желтым цветом) (в); создание криволинейной поверхности (г)

влияния нестационарности, областей стагнации течения расплава, неравномерного роста застывших поверхностных слоев и условий охлаждения, определяемых конструкцией системы охлаждения, материалами литейной формы и пр.

В Moldex3D модель литниковых каналов может быть импортирована из CAD-систем либо создана в модуле Studio.

Преимуществами последнего метода является проведение расчетов для гексаэдрических сеток, а также получение сеток, максимально приближенных к "реальной" конструкции без искажений, которые характерны для импортированных сеток (наибольшее негативное влияние на результаты расчета оказывают искажения в области впускных литниковых каналов).

В новой версии расширены возможности автоматического создания модели литниковой системы с зацепами центрального (рис. 4) и разводящих литников для областей соединения разводящих и впускных литниковых каналов, в том числе для разных вариантов конструкции туннельных литниковых каналов (рис. 5).

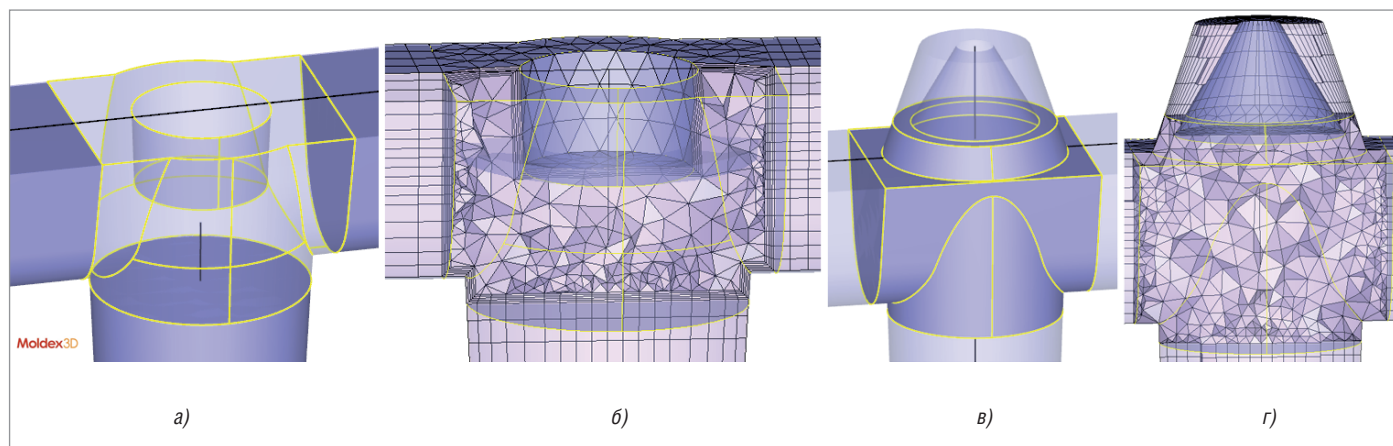


Рис. 4. 3D-визуализация автоматически созданных 1D-моделей литниковых каналов с вариантами зацепов центрального литника (а, в) и соответствующие твердотельные сетки, построенные на этих моделях (б, г)

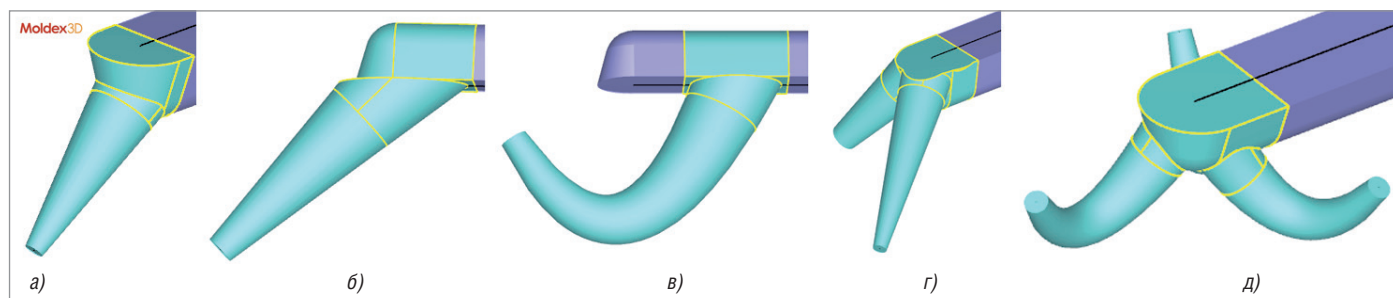


Рис. 5. Автоматически созданные модели туннельных литниковых каналов

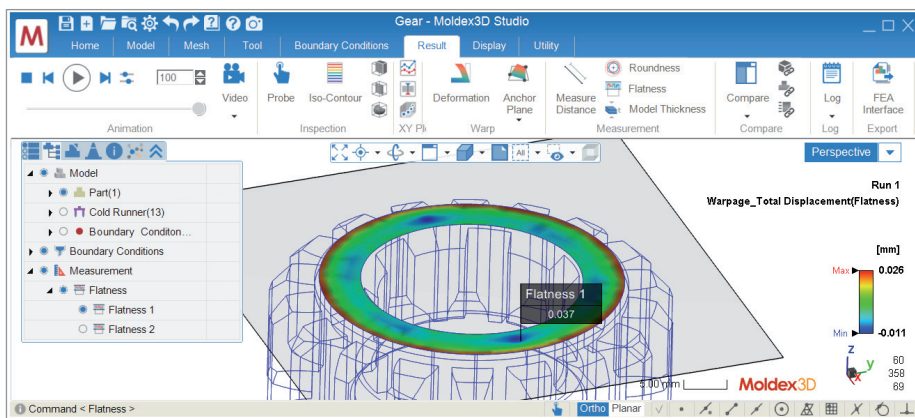


Рис. 6. Результат "отклонение от плоскостности" при расчете коробления

Оценка результатов расчета коробления

В графические результаты расчета коробления модуля Studio добавлено отклонение от плоскостности (рис. 6). При выводе этого результата может использоваться несколько заданных плоскостей. Точка максимального отклонения определяется автоматически. Для визуального выявления коробления можно одновременно применять масштабирование деформаций и компенсацию изотропной или неизотропной технологической усадки.

Многокомпонентное литье

В версии Moldex3D 2020 усовершенствованы расчеты технологического процесса многокомпонентного литья, где в качестве компонентов могут использоваться термопластичные материалы разных цветов или химической структуры. При расчете напряженно-деформированного состояния отливки в форме для последующего компонента точнее учитывается состояние предыдущего компонента, определяемое объемной усадкой термопласта, условиями охлаждения отливки и пр. Для расчета коробления, технологической усадки и остаточных напряжений многокомпонентного изделия можно использовать как упругую (Standard Warp), так и вязкоупругую (Enhanced Warp) модель термопластичного материала. На рис. 7 показаны модель двухкомпонентной отливки и результат расчета коробления в новой версии.

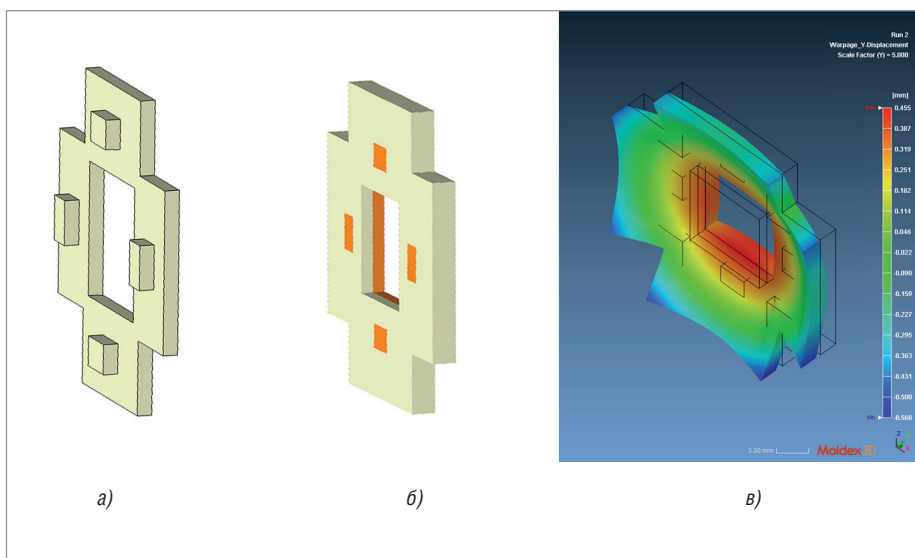


Рис. 7. Модели первого компонента (а) и двухкомпонентного изделия (б) из окрашенного АБС-пластика и результат расчета коробления (деформаций в направлении оси Y, увеличены в 5 раз для наглядности) (в)

Литье с физическим и химическим вспениванием

Программные продукты Moldex3D позволяют проводить инженерные расчеты технологий получения вспененных изделий из термопластов, включая литье с микровспениванием (MuCell), где вспенивающим агентом является азот или углекислый газ в сверхкритическом состоянии, а также химическое вспенивание с использованием порофоров экзотермического или эндотермического типа. В новой версии модель процессов вспенивания расплава термопласта при литье под давлением учитывает растворимость газа в расплаве, а также влияние температуры на коэффициент диффузии газа в расплаве и поверхностное натяжение, что позволяет повысить точность расчета потерь давления (и соответствующего распорного усилия) при течении вспененного расплава (рис. 8). Пузырьки газа увеличивают вязкость расплава аналогично другим наполните-

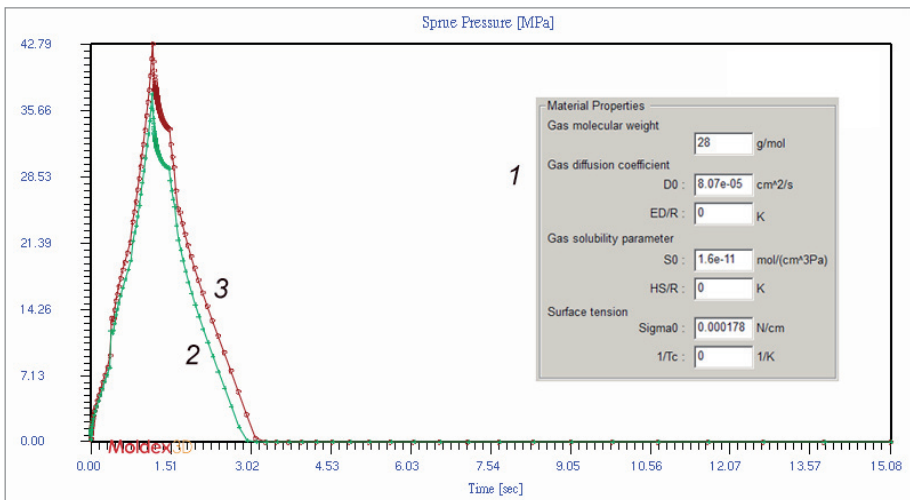


Рис. 8. Условия расчета литья с микровспениванием (1) и изменение давления на входе в центральный литниковый канал в литьевом цикле с учетом (2) и без учета (3) растворимости азота в расплаве термопластичного материала (технология MuCell)

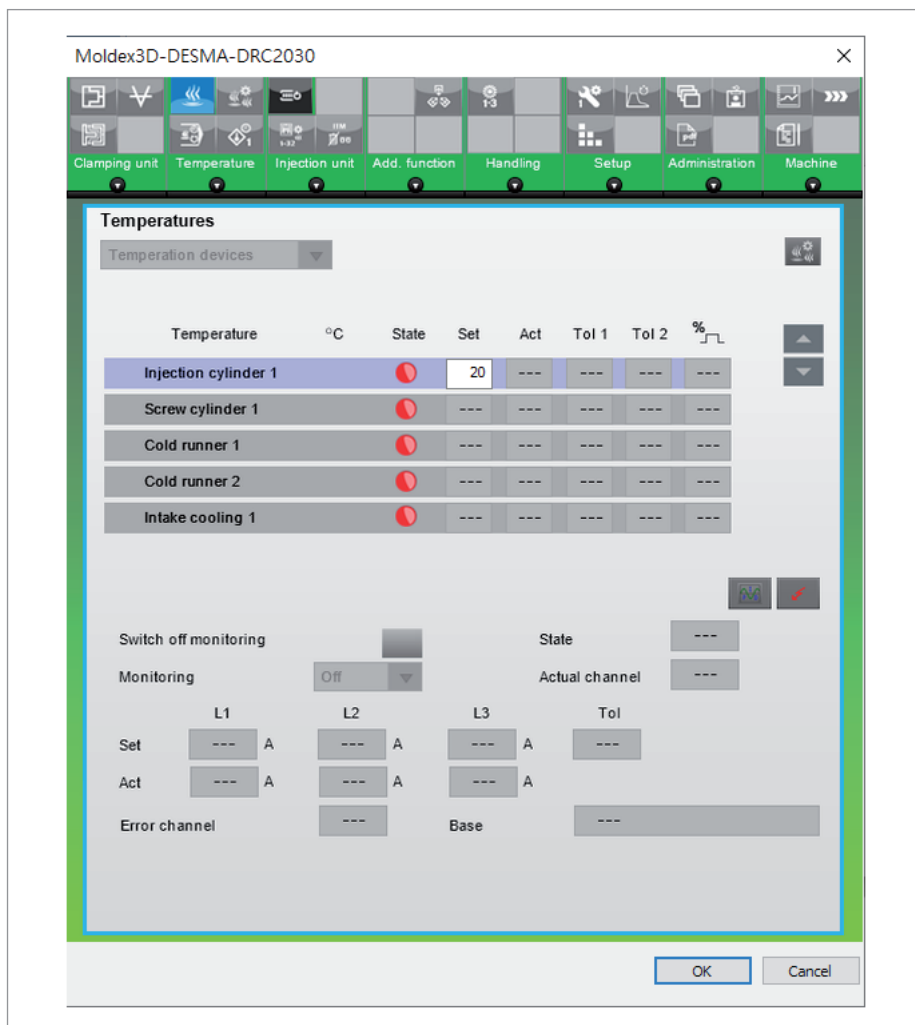


Рис. 9. Виртуальный интерфейс системы управления DRC2030 литьевых машин DESMA для задания технологических условий расчета

лям (волокнистым или дисперсным), поэтому при увеличении растворимости газа в расплаве вязкость газонаполненного расплава снижается, что вызывает соответствующее снижение потерь давления при впрыске.

Другие улучшения

В версии Moldex3D 2020 по сравнению с предыдущей версией уменьшено время расчета стадий заполнения, уплотнения и охлаждения отливки: в среднем на 20% для метода расчета BLM (в котором применяются специальные неравномерные в направлении толщины твердотельные сетки) и на 30% — для метода eDesign. В новой версии расширены возможности задания граничных условий теплового контакта на стадиях литьевого процесса для закладной арматуры и деталей литьевой формы, закрепления узлов и нагружения в расчетах напряженно-деформированного состояния отливки при термообработке или прогнозирова-

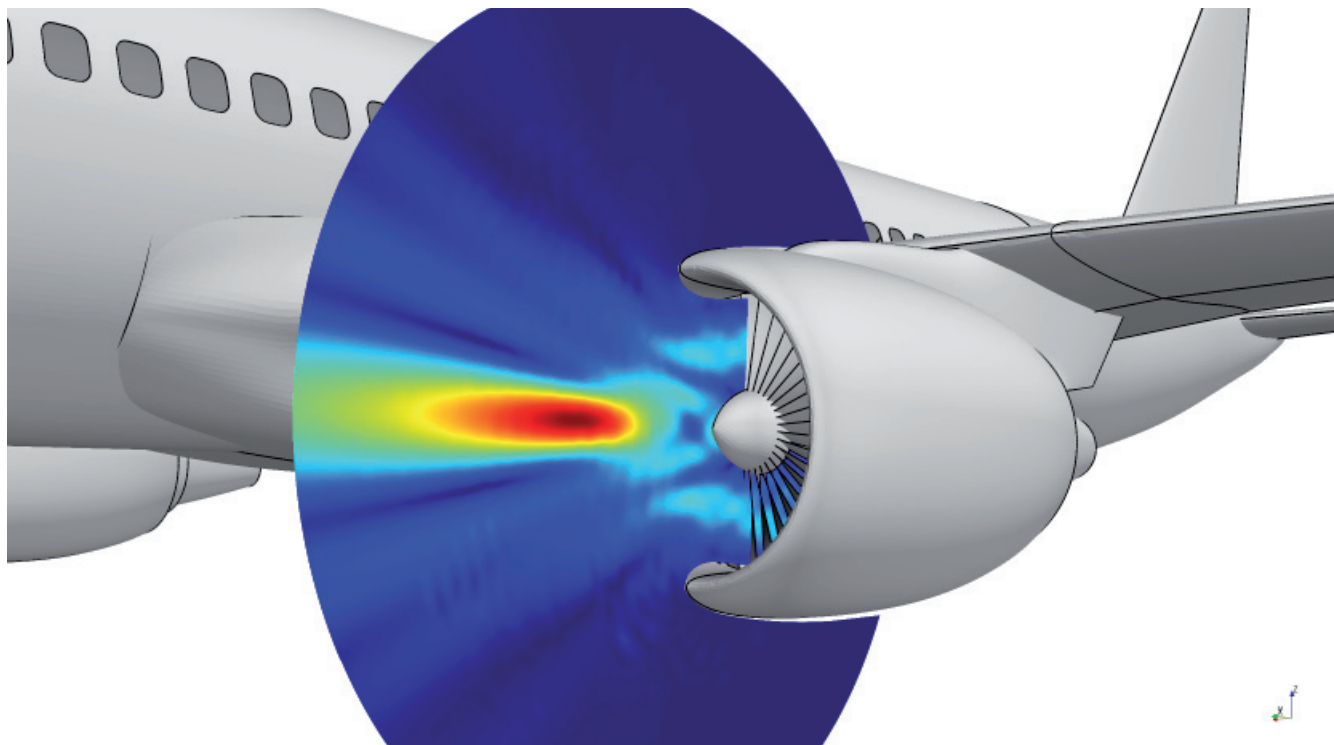
нии поведения литьевых изделий в процессе эксплуатации, оптимизации технологического режима и конструкции с использованием метода планирования эксперимента (DOE). Улучшено моделирование поведения расплава термопласта в процессе движения запорного клапана горячеканального сопла при его закрытии и открытии. При расчете нагрева-охлаждения литьевой формы могут применяться модели охлаждающей системы, содержащие одновременно 3D- и 1D-участки охлаждающих каналов. Полностью интегрировано в модуль Studio моделирование литья с декорированием в форме (литье на пленку и пр.), что упрощает задание граничных условий и условий решателя, а также вывод результатов для этих технологических процессов. Для задания условий литья в Мастере технологического режима Moldex3D можно использовать базу данных по литьевым

машинам, в которую, помимо технических характеристик, включены интерфейсы систем управления термопласт-автоматов. В версии Moldex3D 2020 добавлены интерфейсы литьевых машин TOYO, HWACHIN и DESMA (рис. 9). Как и в предыдущих версиях, дополнена база данных по термопластичным материалам.

Литература

1. CoreTech System. Co., Ltd. <http://www.moldex3d.com>
2. Wang M.- L., Chang R.-Y., Hsu C.-H. Molding simulation: Theory and practice. — Munich, Cincinnati: Hanser Publishers, Hanser Publications, 2018. — 513 p.
3. Chang R.-Y., Yang W.-H. Numerical simulation of mold filling in injection molding using a three-dimensional finite volume approach // Int. J. Numer. Meth. Fluids. 2001. V. 37. — P. 125–148.
4. What's new in Moldex3D 2020 R1. CoreTech System. Co., Ltd. 2020. — 63 p.
5. Moldex3D 2020 R2. New Pack version. CoreTech System. Co., Ltd. 2020. — 12 p.
6. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: Концепции, методы, приложения. — СПб: Профессия, 2007. — 558 с.
7. Favaloro A.J. Rheological behavior and manufacturing simulation of prepreg platelet molding systems. Ph.D. Thesis. Purdue University, 2017.
8. Favaloro A.J., Tseng H.-C., Pipes R.B. A new anisotropic viscous constitutive model for composites molding simulation // Composites. 2018. V. A115. — P. 112–122.
9. Барвинский И.А. Прогнозирование усадки при литье под давлением деталей из термопластов // III Международный семинар "Современные технологии литья пластмасс. Локализация производства автокомпонентов и проблемы контроля качества". Санкт-Петербург. 15-16 сентября. 2011. — С. 1–28.
10. Барвинский И., Барвинская И. Анализ причин брака при литье термопластов под давлением. Практ. семинар "Литье термопластов под давлением: экономическая эффективность и качество". Москва. 24 октября 2012. — 11 с.

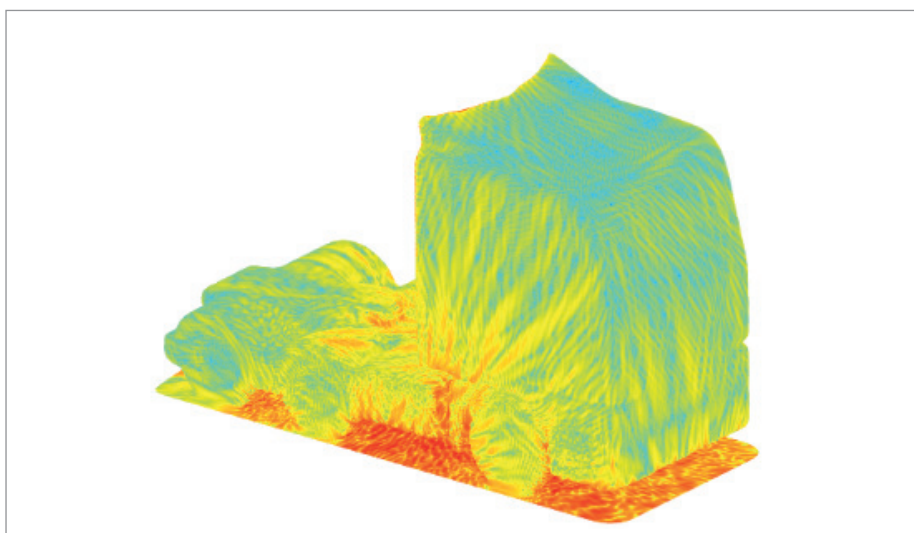
*Игорь Барвинский,
главный специалист
АО "CuСофт"
Тел.: (495) 913-2222
E-mail: ibarvinsky@csoft.ru*



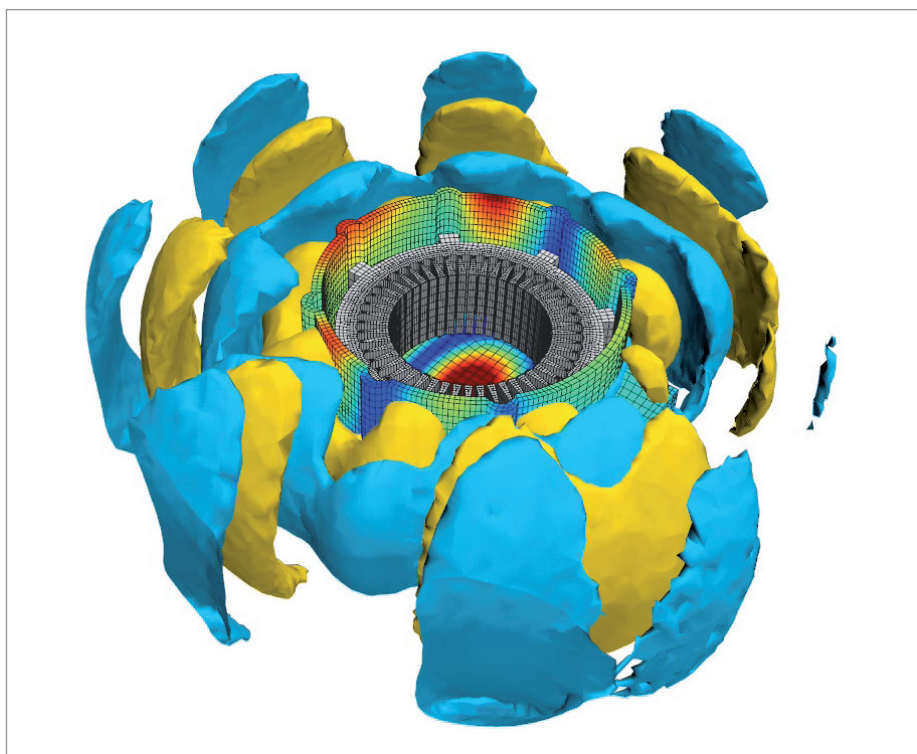
➤ АНАЛИЗ АКУСТИКИ, ВИБРОАКУСТИКИ И АЭРОАКУСТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ АСТРА. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Цели анализа акустики

Защита человека от шума и вибраций, а также обеспечение акустического комфорта при эксплуатации технических систем являются важными задачами при разработке новых изделий в различных производственных отраслях. В ряде случаев для достижения прочности и долговечности элементов конструкций и работы электронных систем требуется произвести анализ акустической нагруженности. Вычислительные методы такого анализа активно применяются разработчиками технических устройств для оценки влияния конструктивных параметров изделий на акустические характеристики, для повышения эффективности использования звукопоглощающих материалов и т.д.



Внешний шум от работы двигателя и трансмиссии грузового автомобиля



Излучение шума корпусом электродвигателя

Общие сведения о системе Astrap

Astrap — программный комплекс для компьютерного моделирования возникновения, распространения и поглощения звука в акустических средах (воздух, вода и др.). Он включает в себя модули для решения следующих классов задач:

- акустика и виброакустика в частотной и временной области;
- аэроакустика с прямым вычислением источников шума;
- аэроакустика с генерацией шума в Astrap;
- аэроакустика ГТД — специализированные модули;
- акустика с применением статистического энергетического метода;
- ряд специализированных модулей:
 - генерация профилей и шума вентиляторов;
 - анализ виброакустики на основе теоремы Грина;
 - "пленочный" анализ виброакустики на основе форм колебания вибрирующих поверхностей;
 - определение модального состава шума в каналах для последующего использования в качестве источников;
 - вычисление передаточных функций в виде постпроцессинга результатов, вычисление откликов на основе этих функций и других задач.

В состав Astrap входит удобная современная специализированная графическая среда Astrap VI для создания моделей, обработки и визуализации результатов.

Типичные области применения Astrap — моделирование внутренних и внешних акустических полей различных транспортных систем (например, шума в подкапотном пространстве автомобиля и воздействия шума на водителя и пассажиров в салоне; акустических характеристик системы выпуска двигателя внутреннего сгорания; шума в салоне самолета от различных внешних воздействий и т.д.). Кроме того, комплекс позволяет осуществлять подбор характеристик и конструкций звукопоглощающих устройств и покрытий, а также производить акустический анализ характеристик потребительских товаров, таких как динамик мобильного телефона, отдельные стоящие акустические системы, музыкальные инструменты и т.п.

Анализ акустики и виброакустики

Решение акустических и виброакустических задач обеспечивает возможность определения акустических полей при работе различных технических устройств.

В основе Astrap лежат методы конечных и бесконечных элементов, позволяющие моделировать акустические эффекты как в замкнутых объемах (полостях), так и в открытом пространстве с учетом ус-

ловий неотражения звука на границах расчетной области. Богатая библиотека элементов и материалов предоставляет широкие возможности для моделирования. Ее основу составляют одномерные, двумерные и трехмерные элементы для решения трехмерных, двумерных и осесимметричных задач, многоточечные связи, бесконечные элементы и др. Представленные в Astrap материалы позволяют моделировать акустические среды (газы, жидкости) с учетом вязко-термических потерь, упругие конструкционные материалы с учетом демпфирования, слоистые композиционные материалы, звукопоглощающие материалы и перфорированные панели в различных постановках, материалы с пьезоэлектрическими свойствами и др.

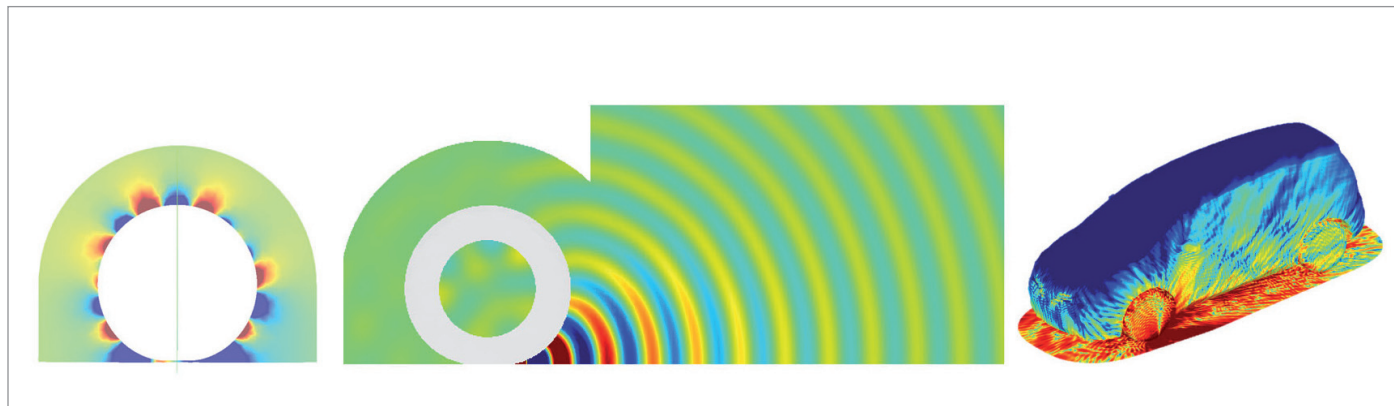
Анализ акустики может производиться в детерминированной или случайной постановке в частотной области прямым или модальным методом. Во временной области возможно проведение анализа переходных виброакустических процессов.

В качестве внешней нагрузки и граничных условий могут рассматриваться источники шума различных типов: монополи, диполи, плоские волны, случайные флуктуации давлений на поверхностях, объемные и поверхностные источники на основе акустических аналогий Лайтхилла и Мёринга, нагрузки от роторов в численной и аналитической постановке, электрические токи, вынужденные колебания акустической среды в каналах постоянного сечения — каналные моды; граничные условия по давлению, перемещению, скорости, ускорению и др. Поддерживается широкий набор граничных условий: импеданс, адмиттанс, звукопоглощающие конструкции, коэффициент поглощения, условия непроницаемости, структурные граничные условия и др.

Кроме того, Astrap позволяет проводить расчет собственных частот и форм, пленочный анализ, анализ на основе теоремы Грина, отдельное формирование и использование моделей звукопоглощающих материалов. В результате расчета выводятся поля акустического давления и частотные спектры, в том числе могут быть автоматически рассчитаны величины в дБ, дБА в октавных и третьоктавных полосах, общий уровень звукового давления и многое другое.

Шум шин

Снижение шума при взаимодействии шин с дорожным покрытием, водой



Распространение шума шины. Результаты расчета в Atran (по материалам компании Renault)

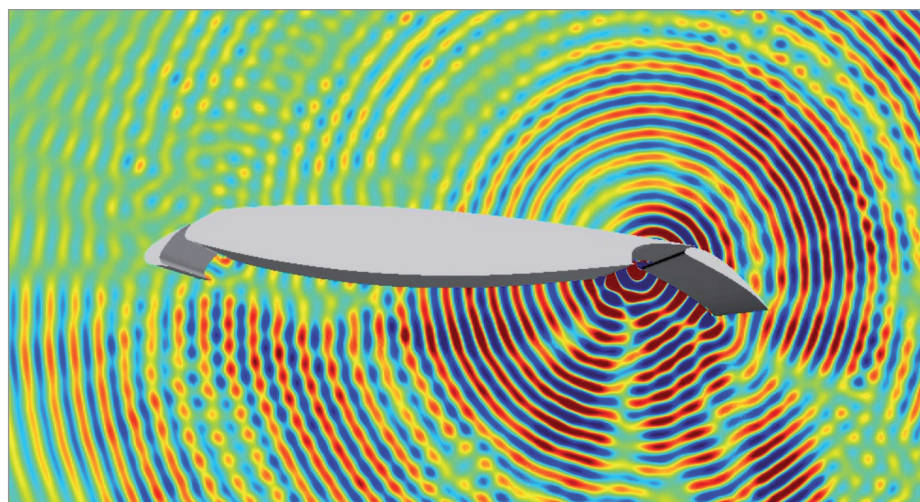
и воздухом во многих случаях является необходимым для снижения общего шума транспортного средства. Разработка перспективных конструкций малозумных шин требует расчетного исследования.

В Atran реализован подход к комплексному анализу шума шин на основе не-

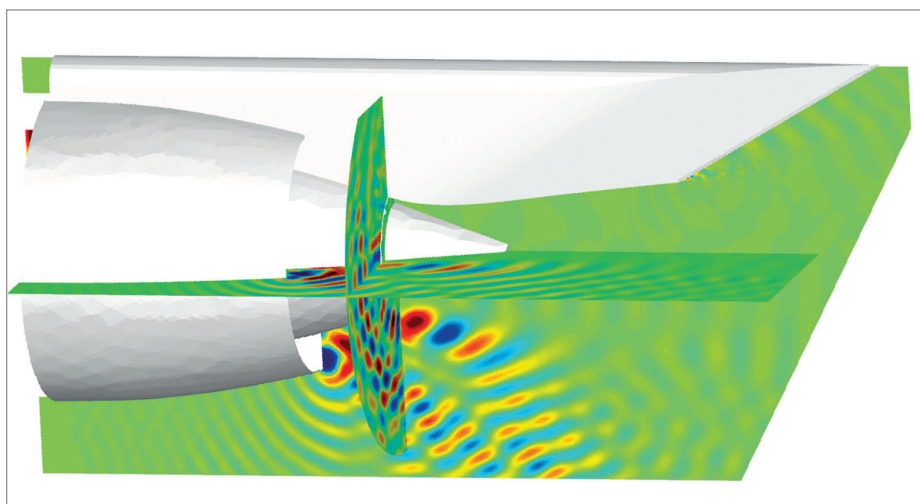
линейного динамического анализа качения шины, который можно проводить в системе Marc или других системах с последующим анализом генерации и распространения шума в Atran.

Большие перемещения шины в пространстве и большие деформации материала шин являются препятствием для

проведения акустических расчетов в сторонних системах. В Atran реализован эффективный алгоритм разделения больших углов поворота шины и сравнительно малых вибрационных компонентов ее движения. В результате работы этого алгоритма могут быть получены исходные данные для расчета шума шины.



Шум обтекания профиля крыла с элементами механизации



Шум выходного устройства газотурбинного двигателя (по материалам компании Airbus)

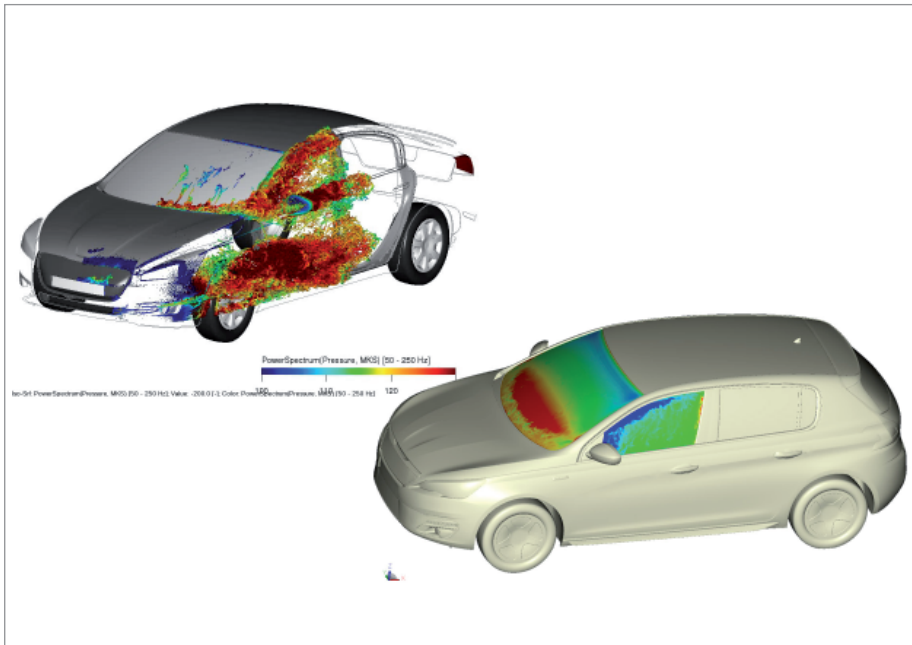
Анализ шума турбулентных течений акустических сред

Во многих случаях возникновение шума обусловлено явлением турбулентности в потоке газа (воздуха). Общеизвестными примерами являются шум газотурбинных и ракетных двигателей, шум от обтекания воздухом транспортных средств, шум при работе систем вентиляции и кондиционирования и т.д. Анализ уровней аэроакустического шума может проводиться с использованием модуля Atran AeroAcoustics.

Гибридный подход к анализу аэроакустики, принятый в Atran, включает в себя два этапа: на первом этапе производится анализ гидрогазовой динамики на дозвуковых скоростях в специализированной системе, например в MSC Cradle CFD; на втором – вычисляются генерация и распространение шума в акустической среде с помощью системы Atran.

Основными физическими величинами, которые требуются для расчета шума гибридным методом, являются векторное поле скорости и поле плотности нестационарного течения газа или жидкости. Для импорта этих данных Atran напрямую интегрирован с широко распространенными системами анализа гидрогазовой динамики, а также позволяет загружать данные в общепринятых форматах EnSightGold и CGNS.

В Atran производится расчет источников шума в потоке, перенос их на акустическую расчетную модель и расчет



Анализ шума обтекания бокового зеркала заднего вида при движении автомобиля (по материалам компании Groupe PSA)

распространения шума с учетом неоднородного поля средней скорости течения акустической среды. Расчет источников шума осуществляется в модуле Actran AeroAcoustics на основе акустических аналогий Лайтхилла и Мёринга. Анализ аэроакустики турбомашин является сложной и актуальной задачей. Проблемно-ориентированные модули Actran позволяют с высокой точностью моделировать шум воздухозаборников и проточных частей турбомашин (модуль ActranTM), а также шум выходных устройств (сопла) с помощью разрывного метода Галёркина с использованием неструктурной р-адаптивной конечно-элементной сетки (Actran DGM).

Генерация и распространение случайного шума

В связи с большой ресурсоемкостью расчетов аэроакустики, а также общей тенденцией проводить расчеты на ранних этапах разработки изделий при отсутствии точной геометрической модели, может возникнуть потребность в приближенном, но быстром методе оценки шума турбулентного течения. "Генерация и распространение случайного шума" (SNGR) – новый метод в Actran, основанный на результатах расчета установившегося течения газа (как правило, методом RANS) и предположении о распределении энергии турбулентного течения между вихрями различных пространственных масштабов в форме за-

данного энергетического спектра. Пространственная ориентация и фазы колебаний акустической среды считаются случайными. Решатель Actran производит генерацию случайного шума, после чего рассчитывает его распространение в акустической среде. По умолчанию используется полуэмпирический энергетический спектр Кармана-Пао, однако пользователь может применить и другие спектры. Метод SNGR активно используется в автомобильной и других отраслях.

Решение задач акустики статистическим энергетическим методом – Virtual SEA

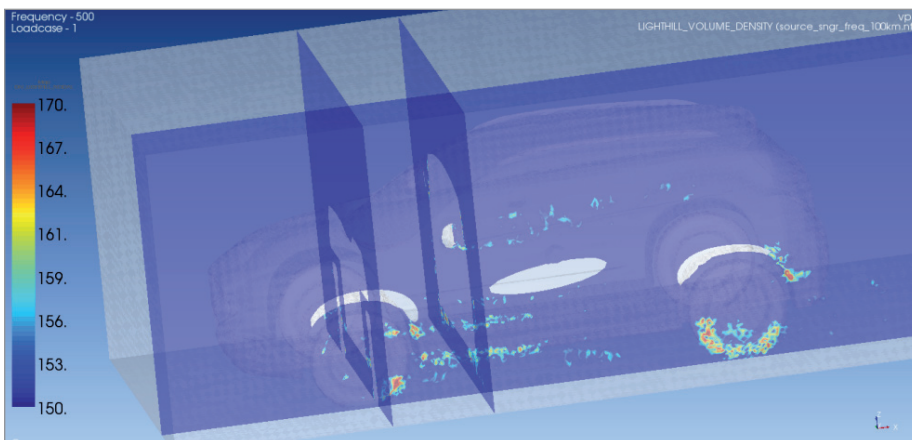
При обработке мер по снижению воздействия шума на человека и высокочувствительные устройства может возникнуть необходимость анализа акустических воздействий на относительно высоких частотах. Традиционные методы анализа частотного отклика прямым или модальным методами являются чрезвычайно ресурсоемкими и не могут быть эффективно применены. Использование энергетического метода расчета виброакустики, который реализован в модуле Actran Virtual SEA, является в этом случае менее затратным, при этом обеспечивая сравнимую точность расчета.

Для определения частотного диапазона применения статистического энергетического метода принимаются два допущения:

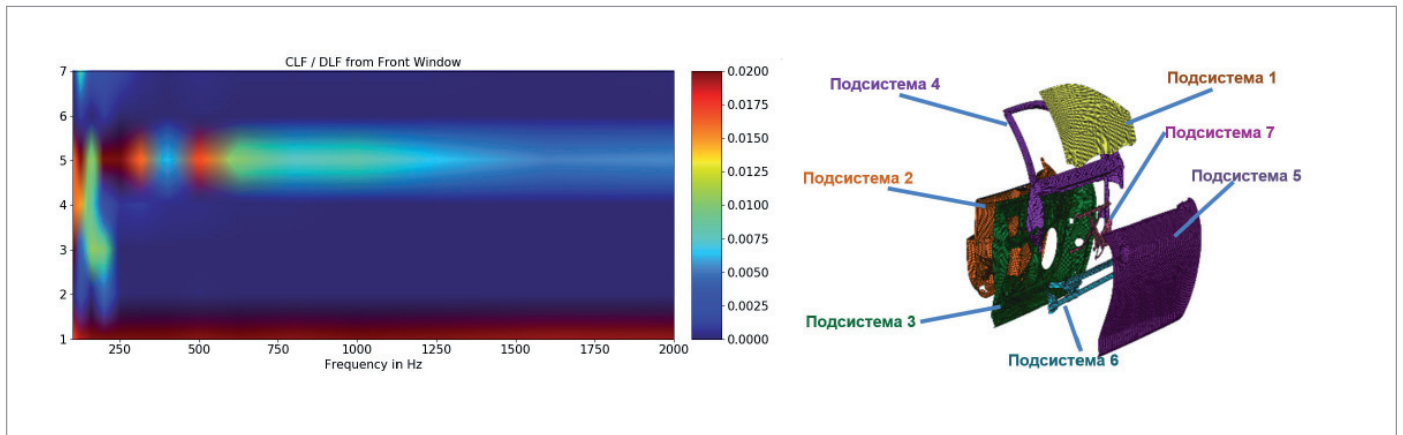
- энергия колебаний распределена между большим количеством форм собственных колебаний системы с примерно одинаковой амплитудой и длиной волны;
- механические свойства системы плавно изменяются с частотой.

В изделиях машиностроения эти допущения выполняются, как правило, на частотах выше 1 кГц. Первое допущение позволяет сделать предположение о случайном характере распределения энергии колебаний, в связи с чем статистический метод оценки энергии колебаний дает хорошее приближение к величинам энергии в натуральных объектах. Второе допущение позволяет провести расчет механических свойств системы для нескольких частот вблизи нижней границы частотного диапазона исследования энергетическим методом и экстраполировать их изменение на более высокие частоты.

Статистический энергетический метод анализа виброакустики известен с 60-х годов прошлого века. Этот приближенный



Шум обтекания автомобиля. Плотность источников шума, рассчитанных в Actran с применением метода SNGR (по материалам компании Mitsubishi)



Коэффициенты энергетической связи для подсистем. Виброакустическая модель двери автомобиля

метод расчета основан на представлении исследуемой системы в виде набора компонентов, для которых производится расчет энергетического баланса. Энергия, поступающая от внешних воздействий, возбуждает гармонические колебания в компонентах, накапливается и передается между ними. Кроме того, она может поглощаться и излучаться в окружающее пространство. Целью расчета является вычисление энергии, которая будет накапливаться в каждом компоненте, а также путей передачи энергии. На основе этих результатов можно делать выводы о вибронегруженности узлов и агрегатов натурального изделия. Зная основные пути передачи энергии в системе, можно указать на участки конструкции, модификация которых даст наибольший эффект по снижению уровня шума и вибраций.

В системе Astrap реализован один из новых подходов к реализации статистического энергетического метода. Предложенный в 2003 году, этот метод позволяет использовать стандартные конечно-элементные модели конструкций и акустической среды для формирования компонентов энергетической модели. На основе конечно-элементных моделей по встроенным в Astrap методикам автоматически формируются компоненты энергетической модели, вычисляются коэффициенты энергетической связи между компонентами и коэффициенты потерь в самих компонентах.

Пользователь строит расчетную модель для виброакустического расчета. Размер элементов подбирается таким образом, чтобы модель с инженерной точностью воспроизводила колебания в области нижней границы частотного диапазона для расчета энергетическим методом. Пользователь выделяет компоненты энергетической модели путем деления

своей модели на части. Размер каждого компонента должен быть таким, чтобы для него выполнялись допущения, указанные выше.

Собственно расчет статистическим энергетическим методом в Astrap производится в два этапа. На первом этапе Astrap вычисляет характеристики компонентов энергетической модели, включая распределение энергии, коэффициенты энергетической связи и коэффициенты потерь для набора исследуемых в расчете частот.

На втором этапе в качестве внешнего воздействия пользователь может прикладывать как его мощность, которая может быть напрямую использована в энергетической модели, так и различные распределенные нагрузки, детерминированные и случайные. На основе таких нагрузок система Astrap вычисляет мощность воздействия и прикладывает ее к энергетической модели.

Результатами расчета являются энергия в каждом компоненте, потоки энергии между компонентами, а также пути передачи энергии. С рядом допущений можно вычислять также акустические давления и деформированное состояние изделий.

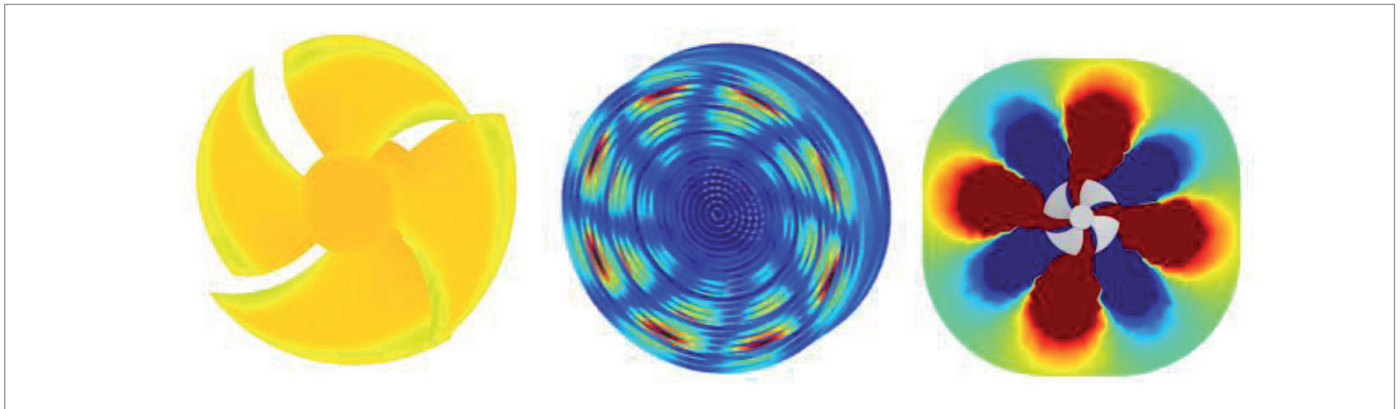
Реализация энергетического метода в Astrap имеет ряд преимуществ:

- при расчете можно использовать традиционные расчетные модели для анализа виброакустики в частотной области; реализована полная интеграция со стандартными методами и графическими средами для построения расчетных моделей;
- модели могут иметь произвольную конфигурацию, они не привязаны к нескольким стандартным формам, могут содержать конструкции, акустическую среду и звукопоглощающие материалы, а также широкий набор внешних воздействий;

- расчетные модели для решения задач энергетическим методом могут быть применены как для более высоких, так и для более низких частот, чем те, для которых они созданы; таким образом можно охватить широкий диапазон частот и убедиться в физической корректности решения;
- обеспечена возможность расчета и визуализации потоков энергии и путей передачи энергии для моделей произвольной конфигурации.

Непараметрическое варьирование свойствами

Одним из способов исследования акустики изделий в условиях неопределенности механических и инерционных свойств является непараметрическое варьирование свойствами. Типовая область применения этого метода — анализ виброакустики в среднечастотном диапазоне, когда стандартные подходы к моделированию несущих конструкций могут не давать надежных результатов. Например, это происходит в тех случаях, когда собственные формы колебаний изделия имеют малую длину волны, сопоставимую с размером отверстий, фасок, скруглений, мелких деталей сборок, покрытий и др., которые должны быть отброшены для упрощения расчетной модели. Кроме того, в таких случаях сложно учесть, как зависят свойства от затяжки крепежных элементов, обжатия прокладок, контакта с силовым набором и т.д. Неопределенность механических свойств может быть учтена в модели путем ввода в расчет случайных отклонений членов матриц (импедансной матрицы). В этом случае результатами расчета являются области возможного изменения откликов: акустических давлений, перемещений механической модели и др. Принимая нормальный закон



Профилирование лопаток вентилятора для системы охлаждения. Этапы построения модели и расчета в Actran

распределения отклонений откликов, можно определить, какие их величины не будут превышены с заданной вероятностью (например, 0,997 для "3 сигма"). Такие результаты могут иметь практическое значение, и они более полно отражают характеристики натуральных изделий на средних частотах. Для изделий машиностроения описанный метод, как правило, применяется на частотах 0,6-1,2 кГц и хорошо дополняет стандартные подходы к анализу виброакустики.

Actran предлагает удобный графический интерфейс для задания случайных отклонений свойств, а также возможность вывода диапазонов изменения откликов в виде графиков, заливок и др.

Сравнительный анализ шума вентиляторов с различной геометрией лопаток

Во многих изделиях машиностроения (например, в транспортных машинах, технологическом оборудовании, вычислительных устройствах и др.) шум вентиляторов вносит существенный, а иногда и основной вклад в общий генерируемый шум. Выбор профилей лопаток вентиляторов по критерию шума, разработка ограждающих конструкций с целью снижения шума при одновременном обеспечении протекания воздуха и других сред – актуальная техническая задача.

В системе Actran предусмотрен широкий набор инструментов моделирования и анализа шума вентиляторов и компрессоров различных типов, размеров и сложности.

В частности, имеются удобные средства формирования профилей вентиляторов на основе их общих геометрических размеров и стандартных профилей. Полу-

ченные профили можно средствами Actran "продуть" для ускоренного получения параметров установившегося течения газа в области лопатки. Затем с помощью Actran можно сформировать случайные источники шума, распределение которых по частоте и в пространстве близко к натурным для большинства случаев. Последующий расчет распространения шума с учетом конфигурации корпусных деталей изделия показывает акустические характеристики всего устройства. Такой быстрый способ

женных как в канале, так и в открытом пространстве.

Методика анализа аэроакустики в Actran также позволяет вычислять источники аэроакустического шума и включать их в виброакустическую модель Actran.

Комплексное применение различных модулей Actran и других систем (MSC Cradle CFD, MSC Nastran, Adams и др.) позволяет с высокой эффективностью и точностью анализировать акустические характеристики изделий с вентиляторами или компрессорами.

Типичные области применения Actran – моделирование внутренних и внешних акустических полей различных транспортных систем (например, шума в подкапотном пространстве автомобиля и воздействия шума на водителя и пассажиров в салоне; акустических характеристик системы выпуска двигателя внутреннего сгорания; шума в салоне самолета от различных внешних воздействий и т.д.)

Высокопроизводительные вычисления в Actran

Actran предоставляет возможность использования нескольких высокоэффективных алгоритмов, обеспечивающих высокую скорость решения задач акустики, которые в большинстве случаев требуют значительных машинных ресурсов.

Тесная интеграция Actran с MSC Nastran, Adams, MSC Cradle CFD и Dytran позволяет эффективно использовать сильные стороны каждого из продуктов. Например, проводить анализ колебаний конструкции с применением MSC Nastran (точность и скорость выполнения такого расчета общепризнанны), а моделирование распространения шума – с помощью Actran.

Широкий спектр решаемых задач позволяет применять Actran при разработке перспективных моделей автомобильной, авиационной, космической, железнодорожной техники, потребительских товаров, электроники, промышленных систем добычи и переработки полезных ископаемых и т.д.

*Александр Жарков,
старший технический специалист
MSC Software
E-mail: alexander.zharkov@mscsoftware.com*



ПРОСТО О НЕЛИНЕЙНОМ АНАЛИЗЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. НА ПРИМЕРЕ КРОНШТЕЙНА

От автора

Цель написания этой статьи — как можно более понятно представить приемы конечно-элементного моделирования на примере такой непростой темы, как нелинейный анализ. Я более семи лет проработал в отделе динамической прочности АО "ВПК "НПО машиностроения", где занимался расчетно-экспериментальным сопровождением изделий ракетно-космической отрасли. Также около трех лет помогал строительным и нефтяным компаниям закрывать их самые сложные расчетные проблемы. Пришло время поделиться опытом.

Введение, или Зачем и про что эта статья

Далеко не все инженеры умеют решать задачи нелинейного анализа. А многих, даже из числа тех, кто специализируется на расчетах в программах конечно-элементного анализа, словосочетание "нелинейный анализ" вводит в заблуждение или же вовсе пугает. Тем, кто мимоходом пробовал решать такие задачи, вспоминаются окна с большим количеством настроек и какие-то графики, которые куда-то движутся и при этом что-то "не сходится" (рис. 1). Однако не только научные задачи, но и современные инженерные нормы и стандарты зачастую требуют учитывать нелинейность в расчетных моделях. Причем эти требования существуют не только в космической,



Рис. 1



Рис. 2

авиационной, машиностроительной отраслях. Так, например, свод правил СП 385.1325800.2018 "Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения" при проведении расчетов требует учитывать геометрическую и физическую (пластичность, ползучесть и др.) нелинейности.

Статистика на сегодняшний день такова, что около 90% расчетов приходится на линейный анализ. С точки зрения экономики, линейный анализ — это быстро, просто и дешево. Но если вам необходимо рассчитать отклик на воздействие ударов, учесть инерционные эффекты, проследить изменение температурных или других параметров во времени, учесть наличие поверхностей контакта, геометрические нелинейности или сложные механизмы поведения материалов, без нелинейного анализа и без умения правильно настроить решатель вам не обойтись. Основные виды нелинейности — физическая геометрическая

и обусловленная наличием поверхностей контакта.

В Рунете (да и в Глобальной сети) на тему нелинейного анализа методом конечных элементов есть два условных типа образовательных материалов: 1) не слишком длинные инструкции, куда и в какой последовательности нажать в вашей САПР, чтобы рассчитать ваши "балку, нагрев, кронштейн, течение...", либо 2) толстые институтские учебники/научные работы или многостраничные руководства пользователя, которые можно и нужно долго изучать... но в ближайшие дни и недели вряд ли получится что-то посчитать самостоятельно.

Данная статья — это попытка автора на конкретном примере в конкретной САПР проиллюстрировать алгоритм проведения нелинейного статического анализа "с нуля" и до анализа решения, при этом предложив некоторые объяснения теоретическим основам, связанным с настройками решателя.

Задачу мы будем решать в препостпроцессоре Femap с решателем NX Nastran, еще с середины 70-х годов прошлого века многократно доказавшим свои надежность, точность и скорость. Я пользуюсь Femap 2020.2, но в целом алгоритм решения такого рода задач идентичен не только в предыдущих версиях Femap, но и в других КЭ расчетных комплексах.

На чем будем тренироваться? Нелинейный статический анализ

Нет, тренироваться, в отличие от героя старой кинокомедии (рис. 2), будем не на кошках.

Нам предстоит рассчитать Г-образный кронштейн за пределом текучести стали. Реальным прототипом кронштейна может быть альпинистский шлямбур, кронштейн на МКС или элемент навесного вентилируемого фасада. Я выбрал его потому что, с одной стороны, не хотел брать готовую модель, а с другой — хорошо было бы не тратить много времени читателя на процесс создания геометрии. С точки зрения модели все будет максимально просто, больше внимания я уделю теории и настройкам решателя. При таком подходе у читателя будет возможность самостоятельно повторить весь процесс — от создания модели до ее численного анализа. И даже провести натурный эксперимент.

В процессе подготовки статьи я обнаружил у себя дома подобный, но перфорированный кронштейн (рис. 3), ранее выведенный мною плоскогубцами за пределы текучести — правда, при других граничных условиях закрепления. И в других целях — не научно-экспериментальных, а в бытовых...

Но при желании вы всегда сможете верифицировать свой численный эксперимент: такие кронштейны есть во всех строительных магазинах.

Немного теории: отличия линейного и нелинейного анализа

Для практики решения инженерных задач с точки зрения внутренних расчетных алгоритмов важно осознавать, что в нелинейном анализе нагрузки прикладываются постепенно и фактически решатель последовательно решает множество задач. При линейном статическом анализе всегда делается лишь один шаг: от начального состояния к конечному. При решении нелинейной задачи все заданные нагрузки будут приложены к телу не сразу. Исходными данными для каждого последующего шага в нелинейном анализе

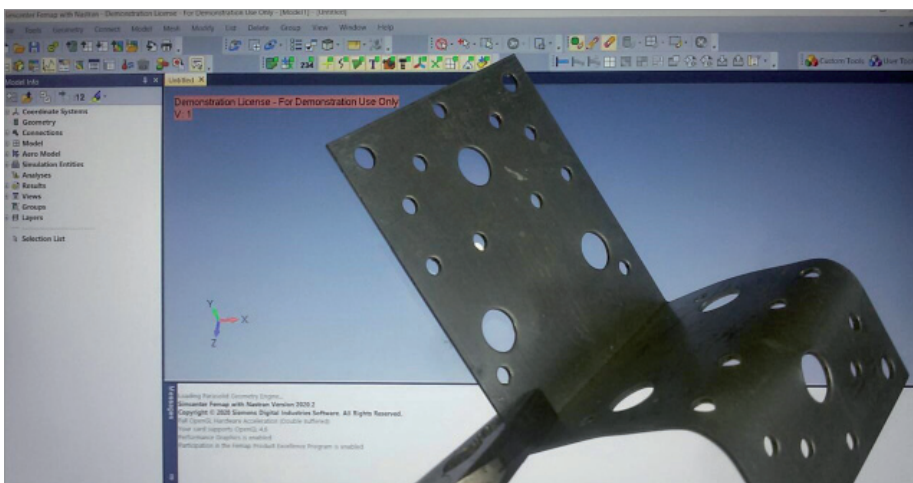


Рис. 3

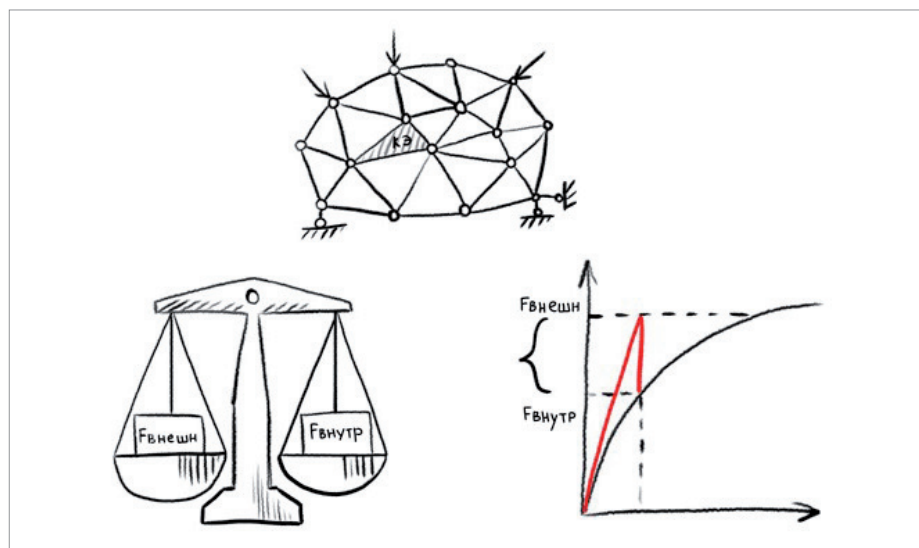


Рис. 4

является состояние модели на предыдущем шаге. Причем на каждом шаге внутренние и внешние силы (энергетические параметры) должны быть уравновешены с учетом некоторой погрешности (рис. 4). Величину допустимой погрешности определяет критерий сходимости (Convergence Tolerances). Обычно этот критерий задается в процентах от приложенной нагрузки, где под нагрузкой понимаются все приложенные к модели внешние силы или, в случае нагружения перемещением, — силы реакции. Обилие настроек объясняется сложностью расчетных алгоритмов, сопутствующих нелинейному анализу. Типовое значение критерия сходимости по силам находится в диапазоне от 0,1 до 1% приложенной нагрузки. В поиске сходимости на шаге решения программа может выполнить множество итераций. По этим причинам решение нелинейных задач занимает намного больше машинного времени, чем решение линейных статических

задач. Важно осознавать, что многошагового подхода могут по разным причинам (типам нелинейностей) требовать задачи, результат решения которых не зависит от времени.

Самый простой пример, на котором можно понять это утверждение, — нагружение упруго-пластичной конструкции нагрузкой, при которой напряжение превышает предел текучести. Решатель заранее "не знает", при какой нагрузке напряжение в отдельных узлах модели превысит этот предел и, следовательно, принципиально изменятся параметры уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние тела. При этом на каждом шаге приращения силы нужно учитывать изменение зоны пластической деформации. Поэтому решение проходит множество шагов приращения нагрузки, а шаги в свою очередь при необходимости выполняются за определенное количество итераций. Вычисления матрицы жесткости могут повторно осуществлять-

ся на каждом шаге решения. Частота пересчета матрицы жесткости задается пользователем. Пластичность — это физическая нелинейность.

В связи с "многошаговостью" и "итерационностью" процесса решения рекомендуем освоить вкладку *Nonlinear History* (Нелинейная хронология решения), на которую можно перейти, запустив решатель. В ней вы сможете по графику в режиме реального времени отслеживать количество выполненных итераций и уровень достигнутой нагрузки (Load Factor). По этому графику можно анализировать скорость сходимости решения. Если что-то пошло не так, то решатель прервет процесс решения и выдаст сообщение, что решение не сходится.

Линейный анализ может использоваться только для анализа моделей с линейными материалами при условии, что нелинейностей других видов нет. Линейные материалы могут быть изотропными, ортотропными или анизотропными. Если материал в модели имеет нелинейные характеристики "напряжение — деформации" под заданной нагрузкой, должен использоваться нелинейный анализ. В нелинейном анализе могут быть использованы различные типы моделей материалов.

При нелинейном статическом анализе динамические явления, подобные инерционным силам и силам демпфирования, не учитываются. Обработка нелинейного статического решения отличается от обработки линейного статического решения несколькими основными позициями, представленными в табл. 1. Общей теории на этом достаточно, а о том, как настроить алгоритмы решения глобальной нелинейной системы алгебраических уравнений, порождаемой методом конечных элементов, я напишу ниже, когда мы дойдем до соответствующего места при разборе нашего практического примера с кронштейном. В Femap большая часть этих настроек находится в диалоговом окне *Nastran Nonlinear Analysis*, куда можно попасть из диалогового окна *Analysis Set*, установив *10..Nonlinear Static* в поле *Analysis Type* и несколько раз нажав кнопку *Next*. Но всему свое время.

Приступим к практике: моделирование кронштейна и линейный анализ в Femap с NX Nastran

В командном меню открываем *File* → *Preferences* → вкладка *Geometry/Model*. В настройках *Solid Geometry Scale*

Таблица 1. Сравнение решений линейных и нелинейных статических задач

Линейное статическое решение	Нелинейное статическое решение
Вычисляет матрицу жесткости один раз в начале решения	Периодически обновляет матрицу жесткости
Использует закон Гука для вычисления узловых перемещений	Итеративно отслеживает нелинейную зависимость "напряжение — деформации"
Не учитывает больших перемещений и поворотов	Учитывает большие перемещения и повороты
Не обновляет направления нагрузок при изменении деформированного состояния	Следит за направлением нагрузок при изменении деформированного состояния
Поддерживает только тип контакта "склейка"	Поддерживает нелинейные контакты, выполняет контактный алгоритм на каждой итерации

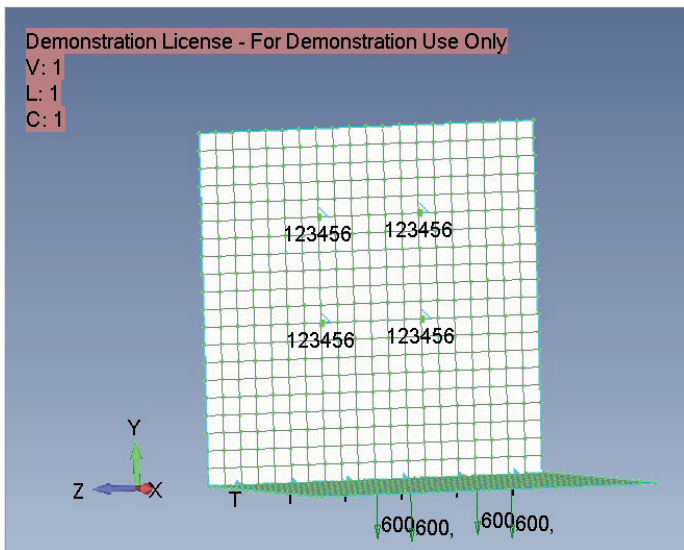


Рис. 5

Factor устанавливаем *Meters*, что соответствует системе СИ измерений физических величин.

Наш Г-образный кронштейн будет состоять из двух квадратных пластин со сторонами длиной 0,1 метра, расположенных в перпендикулярных плоскостях. В командном меню перейдем в *Geometry* → *Surface* → *Corners* и последовательно создадим две квадратные пластины.

- 1) Координаты вершин для первой пластины: 1) $X = 0; Y = 0; Z = 0$; 2) $X = 0,1; Y = 0; Z = 0$; 3) $X = 0,1; Y = 0; Z = 0,1$; 4) $X = 0; Y = 0; Z = 0,1$.
- 2) Для второй: 1) $X = 0; Y = 0; Z = 0$; 2) $X = 0; Y = 0,1; Z = 0$; 3) $X = 0; Y = 0,1; Z = 0,1$; 4) $X = 0; Y = 0; Z = 0,1$.

Последовательно забив эти точки в диалоговое окно *Locate* → *Enter № Corner of Surface*, получим нужную геометрию. Нажатием клавиш *Ctrl+A* мы можем отобразить нашу геометрию в центре видового экрана в удобном масштабе.

Далее создадим материал наших пластин (Сталь 3) и определим его свойства. Для этого в панели *Model Info*, расположенной в левой части экрана, раскроем вкладку *Model*, затем щелкнем правой кнопкой мыши на строке *Materials* и нажмем *New*. Откроется диалоговое окно *Define Material – ISOTROPIC*. В поле *Title* введем наименование *St3*. В поле *General* зададим модуль Юнга (Young's Modulus), $E = 2e11$, коэффициент Пуассона (Poisson's Ratio), $\nu = 0,3$, плотность (Mass Density) = 7850. На вкладку *Nonlinear* пока переходить не будем. Нажимаем *OK*, а затем *Cancel*.

Создадим тип конечного элемента и укажем его свойства. Для этого во вкладке *Model* щелкнем правой кнопкой мыши

на строке *Properties* и нажмем *New*. Откроется диалоговое окно *Define Property – Plate Element Type*. В поле *Title* введем наименование *Pl0005*. Во вкладке *Material* выберем *1..St3*. Затем нажмем кнопку *Elem/Property Type* и убедимся, что флажок стоит в нужном месте: *Plane Elements – Plate*. То есть выбран плоский конечный элемент – пластина. Зададим толщину пластины, для этого в поле *Thicknesses* установим *TavgorT1 = 0,005*. Нажимаем *OK*, а затем *Cancel*.

Сохраним нашу модель, для чего нажмем *File* → *Save As*, выберем путь для сохранения файла и имя файла. Я назову его *KronNonlin*.

Зададим свойства сетки конечно-элементной модели. Для этого в командном меню нажмем *Mesh* → *Mesh Control* → *Size On Surface*. В диалоговом окне *Entity Selection* → *Select Surface(s) to Set Mesh Size* нажмем *Select All*, чтобы выбрать все поверхности. Нажав *OK*, мы попадаем в диалоговое окно *Automatic Mesh Sizing*. В поле *Element Size* выставляем значение 0,005 и нажимаем *OK*. Теперь характерный размер наших конечных элементов будет равен 5 мм. На линиях модели появились точки, дающие нам информацию о том, какого размера будут элементы после создания конечных элементов. Теперь создадим конечно-элементную модель. В командном меню нажмем *Mesh* → *Geometry* → *Surface*. В диалоговом окне *Entity Selection* → *Select Surfaces to Mesh* нажимаем *Select All* и *OK*. В поле *Property* установим созданный нами тип КЭ *1..Pl0005*, а в поле *Meshes* – флажок *Quad*. Нажимаем *OK*. Конечно-элементная модель создана. Теперь закрепим кронштейн и нагрузим его внешними силами.

Крепить кронштейн мы будем за четыре узла (такое закрепление более всего соответствует креплению заклепками или точечной сварке) по шести степеням свободы, и по линии стыка двух пластин – по трем степеням свободы (оставив возможность вращения вокруг линии).

Задаем граничные условия закрепления. Для этого щелкаем правой кнопкой мыши на *Constraints*, нажимаем *New* и вводим название *Constr*. Далее нажимаем правой кнопкой на *Constraints Definitions* и выбираем закрепление по узлам (*Nodes*). Выбрав четыре узла, как показано на рис. 5, закрепляем их по шести степеням свободы; нажимаем *OK*. В поле *Title* диалогового окна *Create Nodal Constraints/DOF* пишем *4nodes* и нажимаем на кнопку *Fixed*, чтобы ограничить перемещение-вращение. Нажимаем *OK*. Вновь щелкаем правой кнопкой на *Constraint Definitions* и выбираем закрепление по линии (*Curves*). В поле *Title* диалогового окна *Create Constraints on Geometry* указываем *Line* и нажимаем кнопку *Pinned – No Translation*, чтобы ограничить перемещение, оставив возможность вращения.

Зададим условия нагружения, для чего правой кнопкой мыши щелкнем на *Loads* – *New*. Новый *Set* назовем *Vert*. Нажимаем правой кнопкой на *Load Definitions – Nodal* и выбираем четыре узла, к которым будут приложены данные нагрузки. В диалоговом окне *Create Loadson Nodal* назовем нашу нагрузку *Force600*. Узловые силы направлены по оси *Y* в отрицательном направлении. Величина узловой нагрузки *F_Y* – минус 600 Ньютон. Таким образом, к каждому из четырех узлов будет приложена нагрузка по 600 Ньютон (то есть 240 кг на все четыре узла).

Далее переходим к настройкам анализа. В командном меню выбираем *Model* → *Analyses*. Нажимаем кнопку *New*, чтобы выбрать тип анализа и решатель. В поле *Title* вводим *Linear*. Выбираем *Analysis Program – 36..Simcenter Nastran* и *Analysis Type 1..Static*. Затем нажмем на кнопку *Analyze* запускаем расчет. Решение занимает у меня меньше одной секунды (!). Femap показывает нам окно наблюдений за результатами анализа: *Simcenter Nastran Analysis Monitor*. Строка *Analysis complete 0* означает, что анализ успешно завершен.

В *Model Info* щелкаем правой кнопкой мыши на *Results* → *All Results* → *Deform*. Теперь мы видим деформированное состояние нашего кронштейна в гиперболизированном виде. На мой взгляд, де-

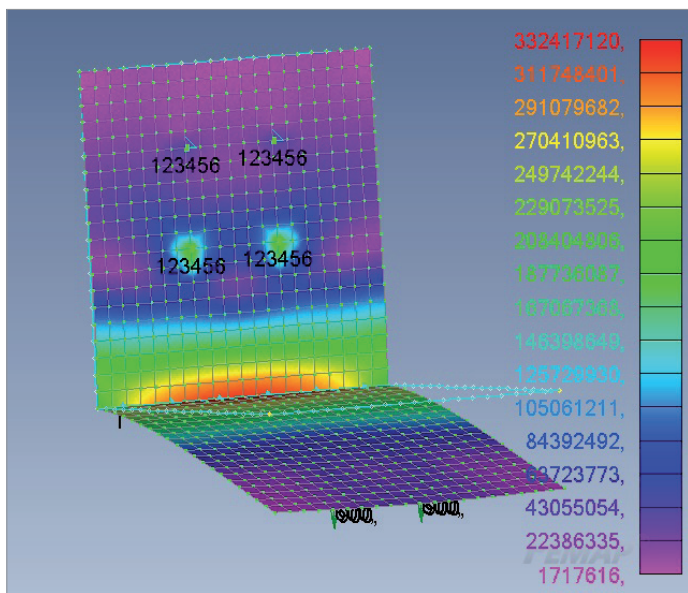


Рис. 6

формированное состояние визуально чрезмерно преувеличено, поэтому нажмем *F6*: откроется диалоговое окно *View options*. Перейдем во вкладку *PostProcessing, Deformed Style* в поле *Scale* установим 4%. Теперь визуализация деформированного состояния модели преувеличена меньше. Максимальные перемещения можно посмотреть в левом нижнем углу модели — они составляют 0,0026 м. Нажмем клавишу *F5* и отобразим распределение напряжений по модели. В поле *Contour Style* установим флажок на *Contour*, затем нажмем кнопку *Deformed and Contour Data*. Во вкладке *Contour* выберем *7033 Plate Top Von Mises Stress*, чтобы Femap отобразил напряжения в узлах. Наша модель стала разноцветной, цвета отображают уровень напряженности (рис. 6). В правой части экрана мы видим шкалу, отображающую, какому цвету какой уровень напряжений соответствует. Чтобы скрыть геометрическую исходную модель, нажмем на иконку *View Surfaces Toggle*. Максимальные напряжения достигают 332,4 МПа, что значительно выше предела текучести 210 МПа для стали Ст3. Итак, напряжения в точках кронштейна значительно выше предела текучести. Линейный анализ не учитывает текучесть-пластичность материалов и связанный с этим явлением эффект перераспределения напряжений, поэтому данное распределение напряжений не соответствует реальности. Переходим к нелинейному анализу.

Практика: нелинейный статический анализ в Femap с NX Nastran

Чтобы перейти от линейной к нелинейной модели, нам нужно выполнить всего пару действий (разбиение, условия закрепления и нагрузки мы не меняем). Изменим свойства материала, добавив пластические деформации; для этого во вкладке *Materials* щелкнем правой кнопкой мыши на нашем материале *1..St3* и нажмем *Edit*. Перейдем на вкладку *Nonlinear* и в поле *Nonlinearity Type* выберем *Plastic*. В поле *Yield Criterion* выберем *0..von Mises*, в поле *Initial Yield Stress* вводим значение *210 000 000* (то есть 210 МПа). Жмем *OK*.

NX Nastran поддерживает следующие критерии пластичности:

- Мизеса (von Mises) — для пластичного материала используется в большинстве случаев;
- Треска (Tresca) — для хрупких и некоторых пластичных материалов;
- Друкера-Прагера (Drucker-Prager) — для материалов типа грунта и бетона с внутренним трением;
- Мора-Кулона (Mohr-Coulomb) — для материалов типа камень с внутренним трением.

Осталось настроить решатель.

В командном меню выбираем *Model* → *Analyses*. Нажимаем кнопку *New*, чтобы выбрать тип анализа и решатель. В поле *Title* вводим *Nonlinear1*. Выбираем *Analysis Program* — *36..Simcenter Nastran* и *Analysis Type* *10..Nonlinear Static*. Нажимаем кнопку *Next*. В окне *Nastran*

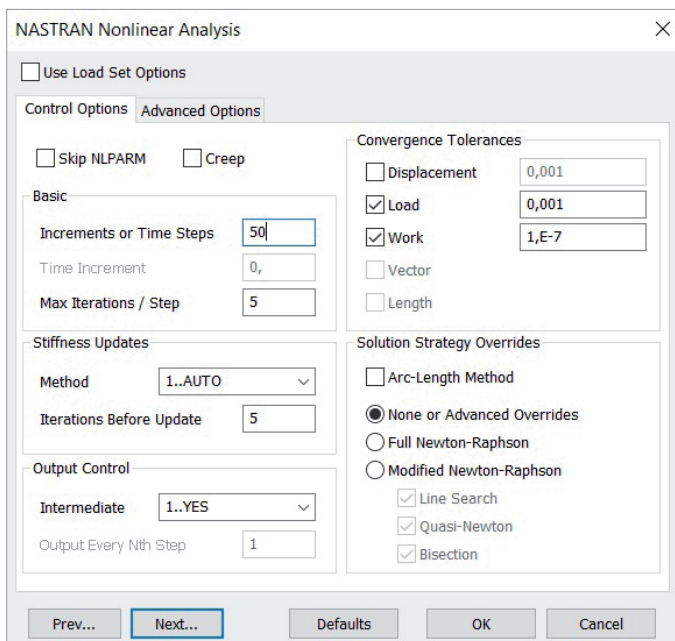


Рис. 7

Executive and Solution Options ставим галочку на *Number of Processors* и вводим число процессоров на нашем компьютере. Затем нажимаем кнопку *Next* шесть раз подряд, не меняя стандартные настройки в диалоговых окнах, пока не попадем в диалоговое окно *Nastran Nonlinear Analysis*. Это ключевое окно для настроек нелинейного анализа, поэтому остановимся на этом месте поподробнее и рассмотрим его поля-настройки (рис. 7).

При необходимости учета эффекта ползучести нужно установить галочку в поле *Creep*.

В поле *Basic* устанавливаем количество шагов приращения нагрузки (*Increments or Time Steps*) и максимальное количество итераций на каждом шаге (*Max Iterations / Steps*). В случае нелинейного статического анализа *Increments or Time Steps* отражают уровень нагрузки. На графике *Nonlinear History (Нелинейная хронология)*, иллюстрирующем в реальном времени количество выполненных итераций, уровень нагрузки отложен на вертикальной оси и называется *Load Factor*. Его величина лежит в диапазоне от 0 до 1. За заданное количество шагов нагрузка меняется от 0 до полной; при этом, если того требуют условия сходимости, в рамках одного шага выполняется несколько итераций. Эти два параметра очень важны, в каждой задаче нужно постараться выбрать "золотую середину" между слишком большим количеством "шагов" и "итераций" и слиш-

ком маленьким. Если их слишком мало, то решение не сойдется или будет оказано негативное влияние на точность. Если же их количество окажется чрезмерным, решение будет затрачивать очень много машинных мощностей, времени, и может быть оказано негативное влияние на сходимость. Чтобы исследовать влияние этих параметров, мы прорешаем нашу задачу с кронштейном несколько раз при различных сочетаниях количества "шагов" и "итераций", наблюдая при этом за графиком нелинейной хронологии.

Для нелинейной статической задачи в поле *Stiffness Updates* можно выбрать один из трех методов (AUTO, ITER, SEMI) обновления матрицы жесткости тела, а также количество итераций (*Iteration Before Update*), через которое матрица будет обновляться. Если метод выбран неверно, то автоматически будет использоваться 0..Default (по умолчанию). В методе AUTO матрица жесткости обновляется исходя из оценок сходимости разных численных методов (квазиньютоновского, с линейной итерацией, половинного деления) и с выбором того из них, что даст минимальное количество обновлений матрицы жесткости. Метод SEMI подобен методу AUTO, но обновление матрицы жесткости обязательно проводится и на первой итерации после изменения нагрузки, что бывает эффективно для сильно нелинейных процессов. Метод ITER (в нелинейном анализе во времени ему подобен метод TSTEP) проводит обновление матрицы жесткости после указанного в поле *Iteration Before Update* количества итераций. Метод ITER эффективен для сильно нелинейных процессов, при которых геометрия тела в процессе деформирования резко изменяется (например, при потере устойчивости).

В поле *Output Control* задаются настройки вывода результатов на промежуточных

шагах нагружения (временных шагах, если речь идет об анализе во времени). При проведении статического нелинейного анализа во вкладке *Intermediate* можно выбрать один из следующих вариантов: 0..Default (по умолчанию), YES (выводить), NO (не выводить), All (выводить на всех шагах). При нелинейном анализе во времени можно задать, через какое количество шагов следует вывести результат.

В поле *Convergence Tolerance* задаются допуски на удовлетворение условий сходимости для нагрузок (*Load*), перемещений (*Displacement*) и внутренней работы (*Work*). Влияние допуска по сходимости (*Convergence Tolerances*) на точность и время решения задачи рассмотрим на примере модели, изученной разработчиками Femap с NX Nastran из компании Siemens.

Очень большая нелинейная модель (950 000 DOFs) была тщательно исследована, чтобы определить влияние различных допусков критерия сходимости на время выполнения и точность расчета. В этой модели не было теплопередачи, зазоров или контактов. Результаты исследования показали, что приемлемая точность решения (в сравнении с решением, полученным при очень высоком уровне допуска по сходимости) может быть достигнута как для уровня допуска по сходимости "высокий", так и для уровня "инженерный". Уровень допуска по сходимости "предварительная оценка" дает результат с теми же общими тенденциями, что и более высокие уровни допуска, но ответы недостаточно точны для рабочего проекта. При уменьшении уровня допуска по сходимости расчет происходит значительно быстрее. В табл. 2 можно количественно оценить представленные тенденции.

В поле *Solution Strategy Overrides* устанавливаются настройки процесса решения

глобальной нелинейной системы алгебраических уравнений, порождаемой методом конечных элементов. Для осознанного изменения этих настроек нужно обладать знаниями и опытом – если их недостаточно, лучше оставить установки по умолчанию. Приведу некоторые разъяснения.

Arc-Length Method устанавливает величину временного шага (догрузки) с учетом информации о перемещении узлов тела – его следует использовать, если задача связана с резкой деформацией (потерей устойчивости).

Полный метод Ньютона-Рафсона (Full Newton-Raphson) очень быстро сходится, но нуждается в дополнительном времени на создание дополнительной матрицы для полной матрицы системы алгебраических уравнений на каждой итерации.

Модифицированный метод Ньютона-Рафсона (Modified Newton-Raphson) не нуждается в таком действии, но сходится значительно медленнее, поэтому для его ускорения могут применяться дополнительные процедуры: Line Search (линейного поиска), Quasi-Newton (квазиньютоновского ускорения) и/или Bisection (половинного деления).

Таким образом, мы разобрали основные настройки для нелинейного статического анализа (настройки нелинейного анализа во времени им во многом подобны). Для расчета нашего кронштейна в окне *Nastran Nonlinear Analysis* установим следующие параметры: в поле *Increments or Time Steps* – 50, *Max Iterations / Step* – 5, *Stiffness Updates Method* – 1..AUTO, *Iterations Before Update* – 5, *Intermediate* – 1..YES. Остальные настройки оставим без изменений. Нажимаем ОК и переходим в окно *Analysis Set Manager*. Чтобы запустить расчет, нажмем кнопку *Analyze*. Femap автоматически откроет окно *Simcenter Nastran Analysis Monitor*. Перейдем во вкладку *Нелинейная хронология*,

Таблица 2. Влияние различных допусков сходимости на время и точность расчета

Уровень допуска по сходимости	Нелинейное статическое решение		Затраченное машинное время, часы	Точность решения
	EPSP	EPSW		
Очень высокий	0,001	1,0E-7	163,2	Очень хорошая
Высокий	0,01	0,001	10,3	Погрешность 5%
Инженерный	0,01	0,01	7,0	Погрешность 10%
Предварительная оценка	0,1	0,1	2,9	Погрешность 10-20%

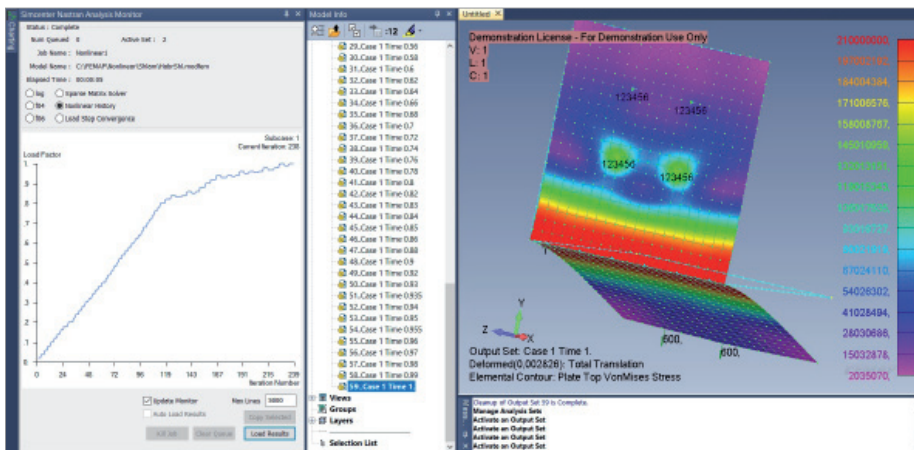


Рис. 8

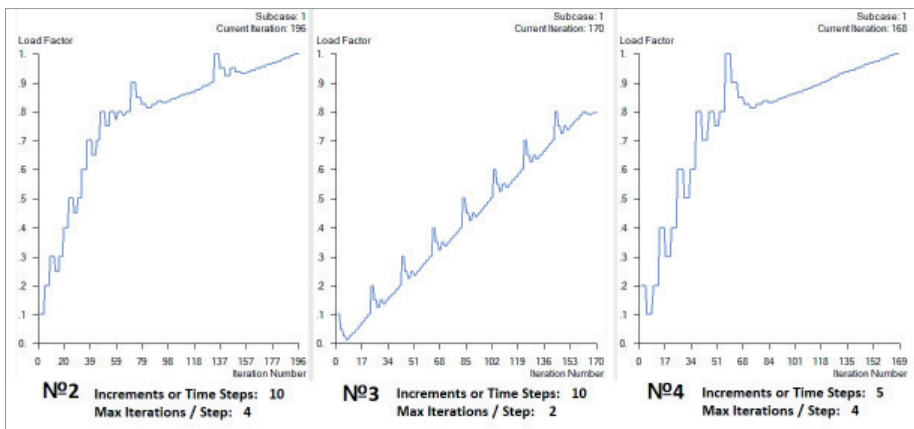


Рис. 9

переставив флажок с *log* на *Nonlinear History* (рис. 8).

Здесь отображается график, иллюстрирующий в реальном времени количество выполненных итераций и (в случае нашего нелинейного статического анализа) Load Factor, то есть фактор нагрузки от 0 до 1. В правом верхнем углу мы видим информацию о номере текущей итерации. Обращаю внимание, что это не номер шага приращения нагрузки, а именно номер текущей итерации. Каждый шаг приращения нагрузки может содержать в себе несколько итераций — это необходимо для выполнения алгоритмов, реализующих сходимость решения. Если приращение не сходится, это означает, что изменение в нагрузке слишком велико, чтобы перейти к следующему шагу; нагрузка снижается — выполняются дополнительные итерации внутри одного шага.

В окне *Model Info* откроем вкладку *Results* → *All Results*. Двойной щелчок мыши на строчке решений открывает результаты при различных уровнях нагрузки от 0 до 100%. Проанализируем

совместно график нелинейной хронологии и напряженно-деформированное состояние кронштейна при различных уровнях нагрузки.

При уровне нагрузки от 0 до 0,62 (Load Factor) напряжения меньше предела текучести 210 МПа, после — начинается пластическая деформация стали кронштейна. Единице 1 соответствует полная приложенная нагрузка — 240 кг на четыре узла. Максимальные напряжения выделены красным цветом — они сконцентрированы возле линии пересечения поверхностей. При уровне нагрузки от 0,62 до 1 зона пластических деформаций растет — максимальные напряжения (в отличие от линейного анализа) не увеличиваются. При факторе нагрузки 0,82 скорость роста кривой уменьшается — это значит, что для удовлетворения условий сходимости на каждый шаг требуется большее количество итераций. Мы смогли достигнуть полной нагрузки 1 — максимальные перемещения составили 0,00283 м. В некоторых случаях (например, если бы мы значительно увеличили нагрузку) геометрия деформированного

тела искажается настолько, что при данной стратегии (настройках решателя) сходимости достичь не удастся. Как видим, результаты нелинейного анализа качественно и количественно отличаются от результатов линейного анализа.

Проведем еще три расчета, выставив разные настройки по количеству шагов приращений и итераций (рис. 9). В первом случае были выставлены *Increments or Time Steps* — 50, *Max Iterations / Step* — 5. Условия сходимости были соблюдены в 1-м, 2-м и 4-м расчетных случаях. В 3-м расчетном случае фатальная ошибка с пояснением, что решение не сходится, появилась при уровне нагрузки 0,8. Обратим внимание, что во 2-м и 4-м расчетах решение было выполнено успешно (полная нагрузка 1) при значительно меньшем количестве шагов и итераций. Наша модель достаточно проста, и все расчеты были проведены менее чем за 5 секунд. На больших моделях благодаря правильному выбору числа шагов приращения нагрузки и итераций может быть сэкономлено много машинного времени.

Заключение

За рамками этой статьи осталось множество вопросов: многоступенчатое нагружение (применение Case и Subcase), применение нелинейных контактов, нелинейный анализ во времени, действия в случаях, когда решение "разваливается". Но я надеюсь, что основная цель статьи достигнута: у тех читателей, кто не имеет обширного опыта в решении нелинейных задач, теперь есть минимальный набор теоретических знаний и практических образцов, чтобы начать работу с нелинейным анализом методом конечных элементов.

Литература

- 1) Basic Nonlinear Analysis User's Guide. Siemens.
- 2) Рудаков К.Н. Femap 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. К.: КПИ, 2011. — 317 с., ил.

Филипп Титаренко,
 продакт-менеджер
 по направлению Femap
 АО "Нанософт"

E-mail: titarenko@nanocad.ru

Чтобы скачать бесплатную пробную версию Femap с NX Nastran, перейдите по ссылке: <https://www.plm.automation.siemens.com/store/ru-ru/trial/femap.html?pid=0011300001cYQjKAAW&spi=4153256>



➤ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ DriveWorks

На темы автоматизации в среде SOLIDWORKS так или иначе задумывались многие пользователи. Пробовали создавать собственные макросы, настраивали управление размерами с помощью переменных и уравнений, но все это не сравнится с функционалом модуля, о котором сегодня пойдет речь, а именно DriveWorks.

Этот модуль был разработан английской компанией DriveWorks Ltd в 2001 году. Примечательно, что она является золотым партнером по разработке у SOLIDWORKS и серебряным у Microsoft.

В 2018 и 2019 годах DriveWorks была отмечена двумя наградами High Sheriff's

Awards за инновации и экспорт. В 2019-м к ним добавилась еще и самая высокая награда среди британских компаний – Queen for Enterprise (рис. 1).

Это говорит о высоком уровне и, самое главное, о востребованности модуля.

Итак, что представляет собой DriveWorks? Это полностью интегрированный в среду SOLIDWORKS модуль, который поставляется в трех конфигурациях. С первой из них, DriveWorksXpress, вы можете быть знакомы через встроенное обучение SOLIDWORKS. Это первый тип лицензии, он предоставляется бесплатно с каждой версией программного комплекса.

Посредством DriveWorksXpress осваивается основной функционал линейки DriveWorks, а именно захват геометрических свойств модели и ее автоматическое перестроение в соответствии с введенными данными (рис. 2).

Может показаться, что предлагаемый процесс автоматизации ничем не отличается от стандартного для SOLIDWORKS, но это далеко не так. Начиная с DriveWorks Solo (второй тип лицензии), появляется возможность более гибко настраивать форму ввода, задавать сложную логику взаимодействия переменных, а также автоматически создавать необходимую документацию (рис. 3).



Рис. 1

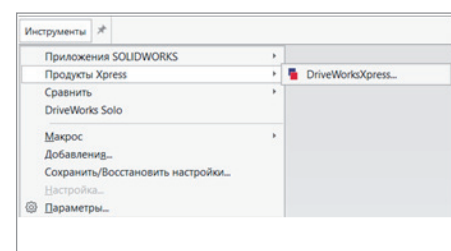


Рис. 2

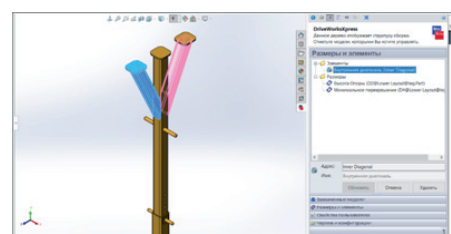


Рис. 3

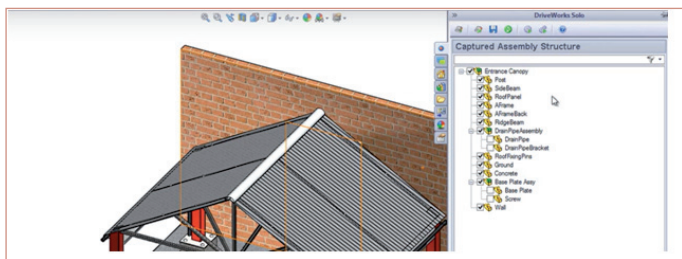


Рис. 4

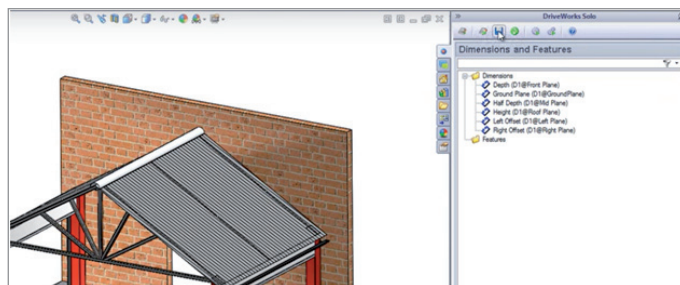


Рис. 5

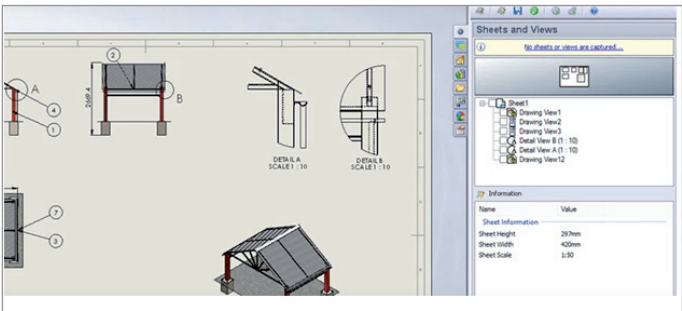


Рис. 6

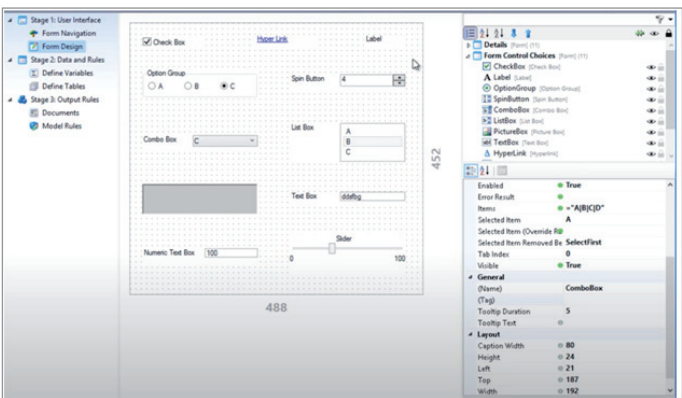


Рис. 8

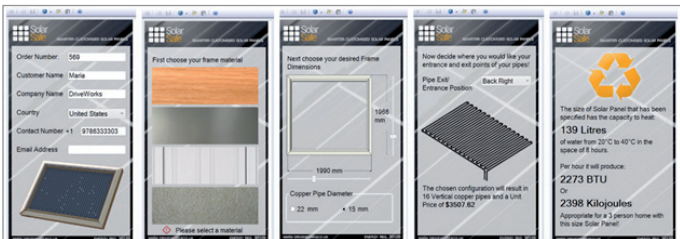


Рис. 7

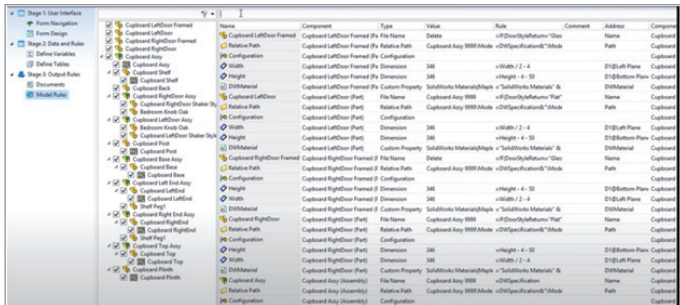


Рис. 9

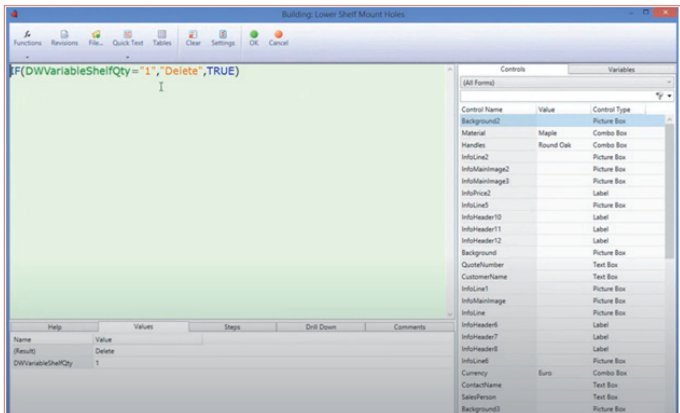


Рис. 10

Процесс автоматизации условно подразделяется на три главных этапа:

- этап 1 – захват геометрии модели;
- этап 2 – создание формы ввода;
- этап 3 – написание логики.

Этап 1

Для начала необходимо выбрать детали или узлы сборки, которыми мы хотим управлять (рис. 4).

Следующим шагом указываем размеры. Обратите внимание, что они разделяются по признакам, размерам эскиза и элементам дерева (бобышка, вырез и т.д. – см. рис. 5).

С помощью DriveWorks Solo мы можем управлять не только геометрическими размерами, но и параметрами материала, текстуры, цвета, пользовательскими свойствами, чертежами и многим другим (рис. 6).

Этап 2

На втором этапе нам необходимо настроить форму ввода и связать ее с переменными. Как пример, с теми размерами, которые мы захватили на предыдущем этапе. Формы ввода настраиваются индивидуально и зависят от типа проекта (рис. 7).

Конфигуратор форм поддерживает основные типы переменных и достаточно прост в освоении (рис. 8).

Наблюдательные читатели могли заметить, что на иллюстрации приведены

несколько иные этапы настройки. Дело в том, что тут указаны настройки для формы ввода в целом, мы же рассматриваем только основные шаги настройки программы и не углубляемся в детали.

Этап 3

На этом этапе следует настроить логику взаимодействия переменных (рис. 9) – а именно, как один параметр будет влиять на другой. Это может быть как реальная переменная модели, так и условный триггер (рис. 10).



Рис. 11

DriveWorks Solo позволяет не только автоматизировать процесс создания нового варианта исполнения, но и создать необходимую документацию. Информация, которую вы видите в документе, напрямую связана с моделью. Это очень важно, поскольку при изменении переменных в карте ввода меняются не только физические данные модели, но и такие параметры, как стоимость, а она отражается в финальном отчете. Количество подобных параметров может быть любым – все зависит от того, как будет настроена программа.

Другими словами, после заполнения карты ввода вы получаете новый проект на основе введенных данных, полную 3D-модель, чертежи и сопутствующую документацию. И самое главное, что все это происходит автоматически, по заранее настроенным правилам.

И, наконец, третий тип лицензии: DriveWorks Pro (рис. 11).

Этот тип лицензии представляет собой многопользовательскую среду, которая в свою очередь содержит четыре вида лицензий:

- Administrator;

- User;
- Live;
- Autopilot.

Как несложно догадаться, Administrator производит настройку и администрирование DriveWorks Pro, настраивает формы ввода, доступ к файлам и многое другое.

С помощью лицензии User можно воспользоваться всеми настройками, произведенными администратором. Проще говоря, это клиент для всех пользователей системы.

DriveWorks Live – это онлайн-конфигуратор, который может быть запущен с любого устройства, имеющего браузер. С примерами проектов вы можете ознакомиться на официальном сайте: <https://driveworkslive.com>.

DriveWorks Autopilot позволяет создавать всю необходимую документацию в фоновом режиме, снижая тем самым нагрузку на выделенные компьютеры (рис. 12).

Настоятельно рекомендуем не игнорировать наличие в каждой версии SOLIDWORKS бесплатной лицензии DriveWorksXpress. После ознакомления с ней вы можете запросить бесплатную тридцатидневную лицензию DriveWorks Solo и произвести с помощью этого решения полную автоматизацию своих проектов.

*Егор Бачурин,
начальник технического отдела
компании ITOOLS
E-mail: Bachurin.egor@i-tools.info*

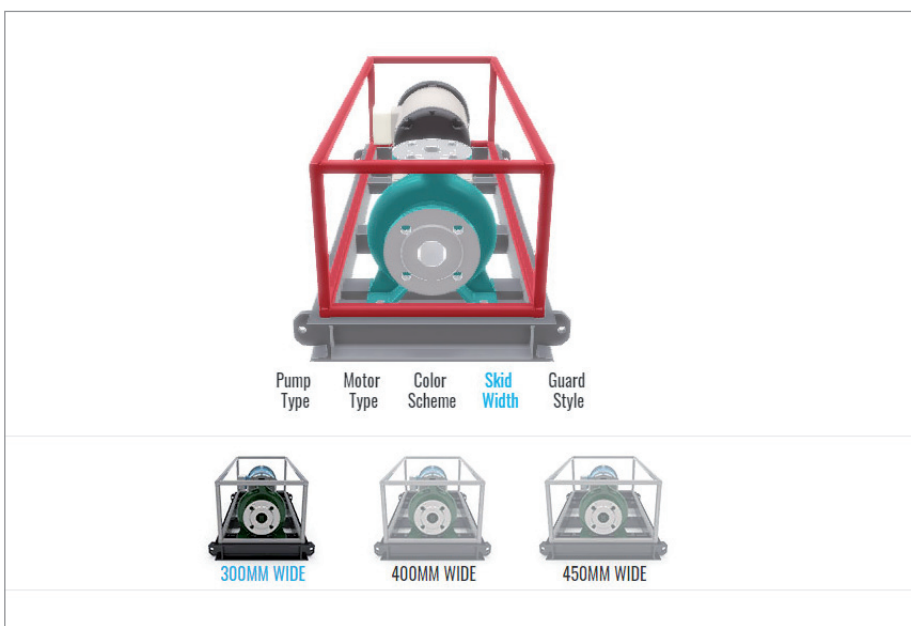
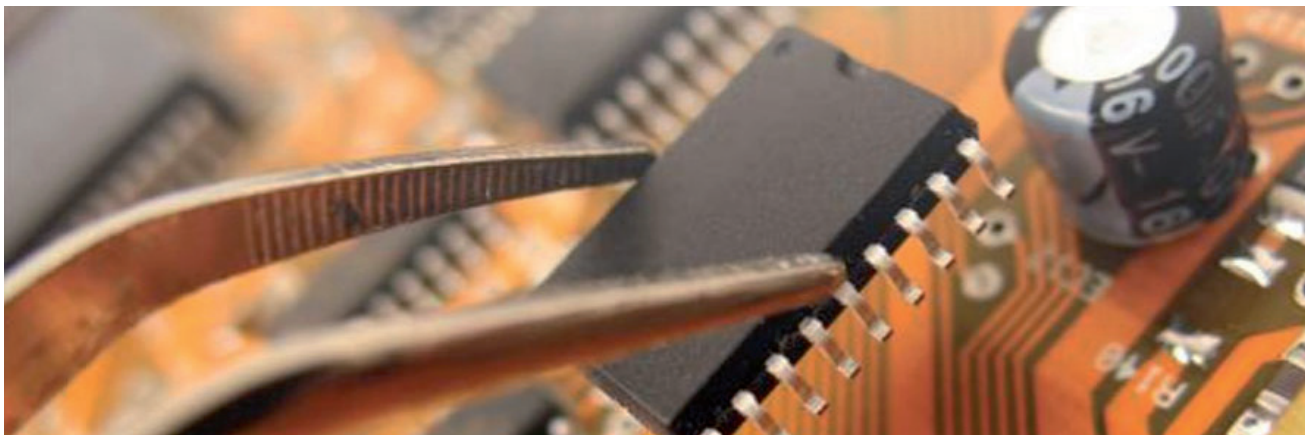


Рис. 12



➤ ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИРТУАЛИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АСОНИКА

Введение

Причиной разработки этой технологии является необходимость моделирования электронной компонентной базы (ЭКБ) и электронной аппаратуры (ЭА) на ранних этапах проектирования для снижения затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок. ЭА состоит из электронных шкафов и блоков, печатных узлов и ЭКБ (микросхем, транзисторов, резисторов и т.д.). На ЭКБ и ЭА оказывают влияние внешние воздействующие (дестабилизирующие) факторы (ВВФ) – механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитных полей, специальных сред и термические. ВВФ могут приводить к нарушению прочности и устойчивости ЭКБ и ЭА. В этой статье рассматриваются основные положения (алгоритмы) технологии моделирования физического состояния и функционирования ЭКБ и ЭА при действии на них ВВФ.

Применение моделирования ЭКБ и ЭА на ранних этапах проектирования позволит избежать или значительно сократить их отказы на этапе натурных испытаний. Тем самым значительно сокращается количество натурных испытаний, возможных итераций по доработке схем и конструкций, затрат на разработку ЭКБ и ЭА при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы. Это позволит сделать ЭКБ и ЭА конкурентоспособными на отечественном и международном рынках и получить в результате электронную модель изделия (ЭМ) на принципах CALS-технологий [1-3]. Использование только натурных испытаний ЭКБ и ЭА на ВВФ без применения моделирования малоинформативно и неэффективно. Это обусловлено целым рядом факторов:

- на этапе проектирования не отслеживается большинство возможных отказов ЭКБ и ЭА;

- при испытаниях не проверяются критические режимы, что либо технически невозможно, либо дорого из-за возможных отказов испытуемых изделий;
- из-за недоработок проектирования ЭКБ и ЭА, вскрытых путем испытаний, может возникнуть необходимость проведения множества итераций (доработка проекта – испытания опытного образца – доработка проекта и т.д.), что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки;
- при натурных испытаниях практически невозможно воспроизвести комплексные (одновременно действующие) воздействия;
- невозможно установить датчики во всех точках конструкции ЭКБ и ЭА и контролировать их поведение, поскольку выбор контрольных точек при испытаниях субъективен и опирается в основном на опыт и интуицию.

В этой статье рассматривается технология математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на все ВВФ на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ). Такой подход позволяет моделировать ЭКБ и ЭА при ВВФ с целью обеспечения их устойчивости и прочности, а также осуществлять моделирование функционирования ЭКБ и ЭА при ВВФ.

Эта технология предназначена для применения предприятиями промышленности и организациями при использовании CALS-технологий на ранних этапах проектирования, изготовления, испытаний, а также на всех последующих этапах ЖЦ ЭКБ и ЭА.

Такая технология применяется для моделирования на ранних этапах проектирования ЭА следующего назначения:

- промышленность;
- энергетика;
- оборонно-промышленный комплекс;
- аэрокосмическая отрасль;
- судостроение;
- медицина;
- автомобилестроение;
- навигация и радиолокация;
- потребительская отрасль;
- фискальное и торговое оборудование;
- связь (телекоммуникация);
- вычислительная техника;
- автоматизация и интеллектуальное управление;
- системы безопасности;
- светотехника;
- автоматизированный транспорт и движущаяся робототехника.

1. Применение CALS-технологий на всех этапах жизненного цикла ЭКБ и ЭА

1.1. Моделирование на этапе маркетинга и изучения рынка. При проведении маркетинговых исследований нужно определить, с одной стороны, в разработке каких именно ЭКБ и ЭА (с какими характеристиками, при каких параметрах внешних дестабилизирующих воздействий) сегодня нуждается промышленность, а с другой стороны, какие на сегодняшний день в мире существуют аналоги разрабатываемых ЭКБ и ЭА. Уже на этом этапе нужно и можно проводить их моделирование при всех внешних дестабилизирующих воздействиях. Изучив потребности рынка в ЭКБ и ЭА, следует сравнить требуемые характеристики и характеристики аналогов. Для этого нужно взять за основу электронные мо-

дели аналогов ЭКБ и ЭА, подать на них все внешние дестабилизирующие воздействия и провести компьютерное моделирование с целью определения стойкости ЭКБ и ЭА ко всем ВВФ. Полученные выходные характеристики следует сравнить с максимально допустимыми по техническим условиям на ЭКБ. Если рассчитанные выходные характеристики находятся в пределах допустимых, то можно переходить к проектированию ЭКБ и ЭА. Если нет, то нужно либо подбирать другие аналоги, либо существенно менять схему и конструкцию, либо создавать принципиально новую схему и конструкцию ЭКБ и ЭА. Но в любом случае оптимальное решение может быть принято только на основе результатов моделирования ЭКБ и ЭА на все ВВФ.

1.2. Моделирование на этапах проектирования, разработки и производства ЭКБ и ЭА. Индивидуальное, а тем более кооперативное проектирование и производство ЭКБ и ЭА могут быть эффективными в случае, если они базируются на основе единой информационной или электронной модели ЭКБ и ЭА (ЭМ ЭКБ и ЭА). Разрабатываемая на этой стадии ЖЦ конструкторско-технологическая информационная модель также базируется на стандарте ISO 10303 (STEP). Созданная однажды модель ЭКБ и ЭА используется многократно при всех ВВФ. В нее вносятся дополнения и изменения, она служит отправной точкой при модернизации ЭКБ и ЭА. Модель ЭКБ и ЭА при всех ВВФ в соответствии с этим стандартом включает:

- концептуальное решение;
- структуру и состав ЭКБ и ЭА (конфигурацию);
- геометрические данные (3D-модели ЭКБ и ЭА);
- технологии сборки;
- проектные расчеты;
- данные об изменениях, согласованиях и утверждениях и др.

Стандартный способ представления проектных и конструкторско-технологических данных позволяет решить проблему обмена информацией между различными подразделениями предприятия, а также между участниками кооперации. Использование международных стандартов обеспечивает корректную интерпретацию хранимой информации, возможность оперативной передачи функций одного подрядчика другому, который, в свою очередь, может воспользоваться результатами уже проделанной работы. Это особенно важно для

ЭКБ и ЭА с длительным ЖЦ, когда необходимо обеспечить преемственность информационной поддержки ЭКБ и ЭА.

1.3. Моделирование ЖЦ ЭКБ и ЭА и выполняемых бизнес-процессов на этапе планирования и разработки процессов. Моделирование и анализ функционирования организационной структуры, поддерживающей одну или несколько стадий ЖЦ ЭКБ и ЭА, — это первый шаг к повышению ее эффективности. Цель бизнес-анализа — выявить существующее взаимодействие между составными частями и оценить его рациональность и результативность. Для этого с использованием CALS-технологий разрабатываются функциональные модели ЭКБ и ЭА, содержащие детальное описание выполняемых процессов в их взаимосвязи, формат которого регламентирован CALS-стандартами IDEF и ISO 10303 AP208. Полученная функциональная модель является детальным описанием выполняемых процессов и позволяет решать целый ряд задач, связанных с оптимизацией, оценкой и распределением затрат, оценкой производительности, загрузки и сбалансированности составных частей, то есть вопросов анализа и реинжиниринга бизнес-процессов.

Методы функционального моделирования могут быть использованы для создания систем обеспечения качества ЭКБ и ЭА при всех внешних дестабилизирующих воздействиях. В этом случае функциональная модель описывает функции системы обеспечения качества ЭКБ и ЭА, регламентированные стандартами ISO серии 9000, т.е. сеть процессов обеспечения качества ЭКБ и ЭА и их интерфейсы, связанные с ними обязанности, полномочия, процедуры и ресурсы, распределение обязанностей и полномочий подразделений и персонала предприятия. Разработанная функциональная модель позволяет выявить логические ошибки, допущенные при построении системы обеспечения качества, уточнить распределение полномочий и ответственности, автоматически генерировать отчетные документы по структуре системы. Для моделирования системы качества также используются информационные модели, регламентированные стандартом ISO 10303 и методологией IDEF1X.

1.4. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе закупки. Исходя из конструкторской документации, определяется состав материалов, комплектующих и ЭКБ, которые следует приобрести для производства ЭА. Необходимо принять опти-



мальное решение на основе критериев стоимости и качества. А это требует привлечения аппарата моделирования ЭКБ и ЭА на все ВВФ.

1.5. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе упаковки и хранения. В процессе транспортировки ЭКБ и ЭА могут подвергаться воздействию ряда внешних дестабилизирующих факторов — климатических, механических и др. Поэтому необходимо, чтобы упаковка осуществлялась в соответствии с параметрами этих факторов. Например, если речь идет о воздействии вибрации, следует использовать пеноматериалы. Однако чтобы выбрать материал и способ упаковки, нужно осуществить моделирование ЭКБ и ЭА при всех ВВФ в условиях транспортировки. Для этого опять используется ЭМ ЭКБ и ЭА, созданная на этапе проектирования. Кроме того, в процессе хранения ЭКБ и ЭА на складе на них воздействуют повышенная (пониженная) температура, повышенная (пониженная) влажность, что также нужно учесть на основе ЭМ ЭКБ и ЭА.

1.6. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе реализации. Реализация ЭКБ и ЭА подразумевает их поставку заказчику. Если условия эксплуатации у заказчика жесткие и предполагают воздействие ВВФ, то необходимо предварительно проверить, будут ли ЭКБ и ЭА стабильно выполнять здесь свои функции. Поставка ЭКБ и ЭА в соответствии с принципами CALS-технологий осуществляется одновременно с ЭМ ЭКБ и ЭА. Это позволяет заказчику провести виртуальные испытания ЭКБ и ЭА при всех ВВФ и принять решение: либо приобрести их без доработок, либо применить дополнительные средства защиты, либо предложить внести некоторые изменения в схему и конструкцию, либо отказаться от приобретения.

1.7. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе установки и ввода в эксплуатацию. На этом этапе необходимо удостовериться, что характеристики, заявленные разработчиком ЭКБ и ЭА, соответствуют реальным значениям, то есть следует проверить степень расхождения между результатами виртуальных испытаний по ЭМ ЭКБ и ЭА при всех ВВФ и результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации. Вначале такое тестирование осуществляется в более мягких режимах, чтобы существенные расхождения расчетных и экспериментальных результатов не привели к отказу ЭКБ и ЭА. Затем можно провести проверку в более жестких режимах. Если расхо-

ждения между результатами виртуальных испытаний по ЭМ ЭКБ и ЭА при всех ВВФ и результатами испытаний в реальных условиях эксплуатации существенные, то необходимо обратиться к разработчику, чтобы совместно принять решение о дальнейших действиях: либо о доработке ЭМ ЭКБ и ЭА и самих ЭКБ и ЭА, либо о расторжении контракта на приобретение ЭКБ и ЭА.

1.8. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе технической помощи и обслуживания. В процессе обслуживания ЭКБ и ЭА могут возникнуть проблемы, связанные с нарушением их функционирования и даже с отказом. С помощью ЭМ ЭКБ и ЭА можно определить конкретные узлы, виновные в неполадках. При этом надо установить, с чем связаны возникшие проблемы: либо с нарушением условий эксплуатации, либо с ошибками в схеме и конструкции.

1.9. Моделирование на этапе эксплуатации ЭКБ и ЭА. Известно, что объемы разрабатываемой документации для сложных наукоемких ЭКБ и ЭА очень велики. Их традиционное бумажное документирование требует огромных затрат на поддержку архивов, корректировку документации, а также снижает эксплуатационную привлекательность и конкурентоспособность ЭКБ и ЭА. Решение проблемы заключается в переводе эксплуатационной документации на ЭКБ и ЭА в электронный вид. При этом комплект такой документации — интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР), электронные справочники, инструкции, руководства и др. — следует рассматривать как составную часть ЭМ ЭКБ и ЭА. Электронная документация может поставляться на электронных носителях (например, на компакт-дисках) или размещаться в глобальной сети Интернет, а стандартизация гарантирует ее применимость на любых компьютерных платформах.

Эксплуатационная документация может содержать данные различных типов в соответствии со стандартами CALS для графической, текстовой и мультимедийной информации.

В электронный вид может быть преобразована эксплуатационная документация, созданная ранее без использования компьютерных систем. Для ЭКБ и ЭА, уже находящихся в эксплуатации длительный период и спроектированных традиционными методами, требуется обеспечение электронной поддержки ЖЦ.

1.10. Моделирование ЭКБ и ЭА на этапе утилизации. Утилизация также может потребовать моделирования с помощью ЭМ ЭКБ и ЭА. Необходимо определить, насколько выработан ресурс ЭКБ и ЭА, от чего зависит, как поступить с ними после вывода из эксплуатации: продолжать использование в более мягких условиях или демонтировать.

2. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА с применением CALS-технологий

2.1. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА с применением CALS-технологий представлена на рис. 1.

2.2. В процессе проектирования в соответствии с требованиями CALS-технологий на базе подсистемы управления данными при моделировании (PDM-системы) с использованием подсистем моделирования происходит формирование ЭМ. С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме управления данными и передается в виде файла в системы анализа электрических схем, а также в системы размещения и трассировки печатных плат. Выходные файлы системы размещения и трассировки печатных плат в форматах PDIF и IDF сохраняются в подсистеме управления моделированием либо сразу, либо после создания чертежей в системах 3D-моделирования.

2.3. В подсистему управления моделированием также передаются 3D-модели блоков ЭКБ и ЭА, созданные в системах 3D-моделирования в форматах IGES, SAT и STEP, которые затем направляются в подсистемы моделирования для анализа механических процессов в блоках ЭА (1), а также в подсистему моделирования для анализа тепловых процессов в блоках ЭА (3).

2.4. Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях блоков сохраняются в подсистеме управления моделированием (2, 4). Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах PDIF и IDF передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ (5). В эту же подсистему также передаются температуры воздуха в узлах, полученные в под-

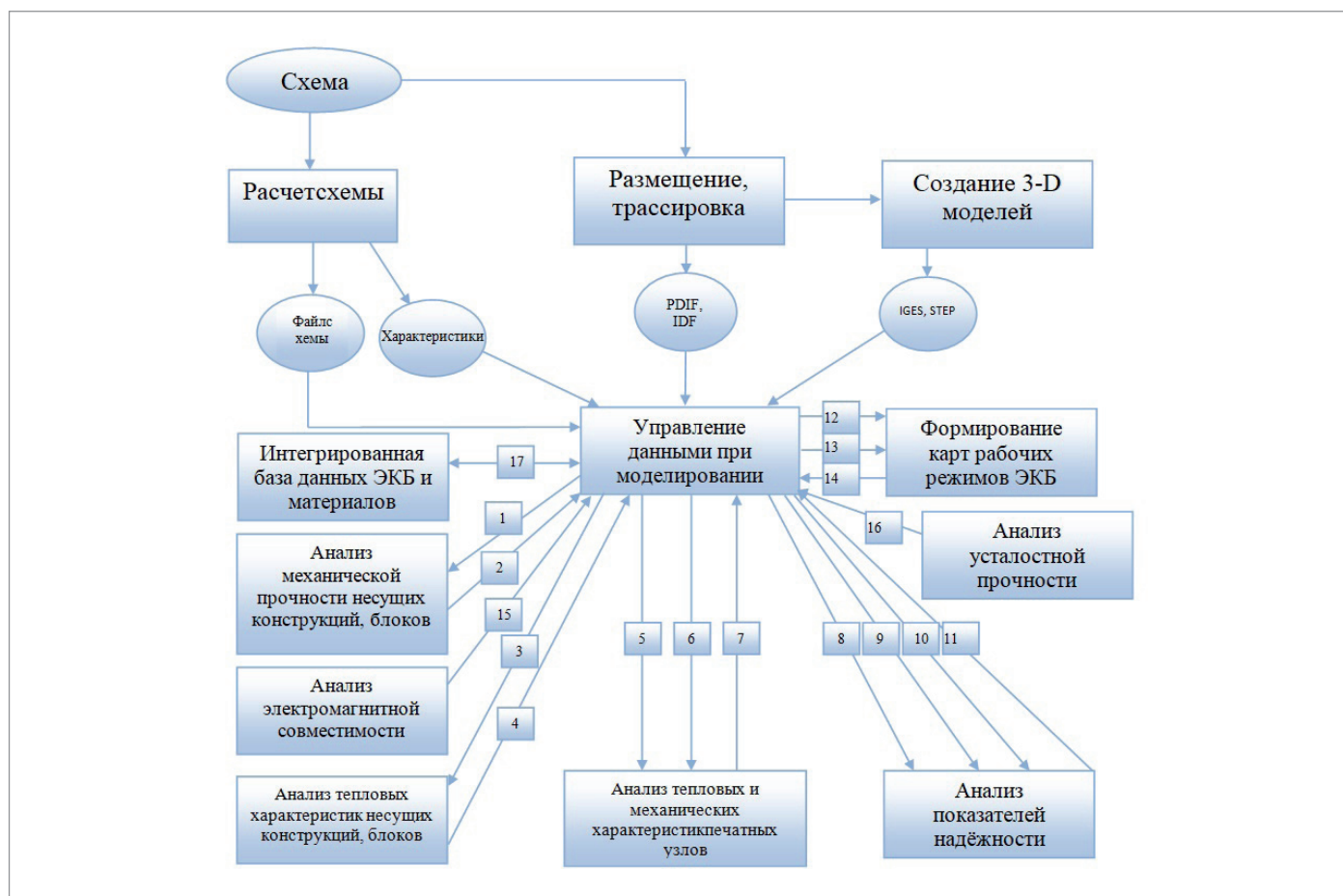


Рис. 1. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА с применением CALS-технологий

системе моделирования тепловых процессов в блоках ЭА, а также ускорения опор, полученные в подсистемах анализа механической прочности блоков (6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭКБ сохраняются в подсистеме управления моделированием (7).

2.5. Перечень ЭКБ (8), файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (9), температурами и ускорениями ЭКБ (10), результаты электромагнитного (15) и усталостного (16) анализа, полученные в подсистеме анализа электромагнитной совместимости и подсистеме анализа усталостной прочности, передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему анализа показателей надежности ЭКБ и ЭА. Полученные в результате показатели надежности ЭКБ и ЭА сохраняются в подсистеме управления моделированием (11). Перечень ЭКБ, файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (12), температурами и ускорениями ЭКБ (13) передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭКБ. Полученные

в результате карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме управления моделированием (14).

2.6. Реализация описанной интеграции обеспечивает возможность внедрения и развития CALS-технологий на предприятиях. Интеграция программных продуктов позволяет выполнить сквозное автоматизированное проектирование ЭКБ и ЭА на основе комплексного моделирования физических процессов.

2.7. Пример результатов комплексного моделирования физических процессов с применением системы АСОНИКА приведен в Приложении.

3. Электронная модель изделия

3.1. Для реализации методологии комплексного математического моделирования ЭКБ и ЭА необходимо создание единой комплексной модели, в которой учитывались бы основные, влияющие на технические показатели ЭКБ и ЭА, связи между протекающими физическими процессами. Единая комплексная модель формируется из подмоделей, обладающих следующими нижеперечисленными свойствами.

3.2. Подмодель электрических процессов:

- отражает электрические процессы, протекающие в схемах ЭА и позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью анализировать функциональные и режимные электрические характеристики;
- включает в свой состав эквивалентные схемы ЭКБ (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности диодов, транзисторов, микросхем и пр.), а также базу макромоделей, позволяющих моделировать ЭКБ и ЭА на уровне функциональных и режимных характеристик;
- учитывает локальные температуры ЭКБ, паразитные проводимости, емкости, индуктивности, взаимные индуктивности и другие параметры, что позволяет отразить влияние конструкции на протекающие в схеме электрические процессы.

3.3. Подмодель тепловых процессов:

- отражает тепловые процессы в проектируемой конструкции, возникающие под влиянием воздействия окружающей среды, тепловыделений в ЭКБ и систем охлаждения;



- учитывает все способы передачи тепла в современных ЭКБ и ЭА;
- учитывает особенности конструктивного построения и способы охлаждения широкого круга современных ЭКБ и ЭА, что позволяет моделировать тепловые процессы с необходимой для инженерных расчетов точностью.

3.4. Подмодель механических процессов:

- отражает механические процессы в проектируемой конструкции, возникающие под воздействием всего спектра механических воздействий (синусоидальная и случайная вибрации, одиночные и многократные удары, линейное ускорение, акустический шум);
- учитывает различные системы виброизоляции, применяемые в ЭКБ и ЭА;
- учитывает эффект внутреннего трения в материалах конструкций, анизотропность физико-механических параметров материалов конструкций, а также их зависимость от локальных перегревов участков конструкции, что позволяет более точно моделировать механические режимы работы ЭКБ и ЭА;
- учитывает особенности конструктивного построения современных ЭКБ и ЭА, способы их амортизации, что обеспечивает возможность с достаточной для инженерных расчетов точностью моделировать весь спектр механических характеристик широкого круга конструкций ЭКБ и ЭА.

3.5. Взаимодействие с ЭМ осуществляется при помощи методик, предусмотренных в CALS-технологии, через систему электронного документа оборота (PDM).

3.6. ЭМ ЭКБ и ЭА позволяет обращаться с ней, как с материальным оригиналом: оценивать соответствия параметров и выходных характеристик изделия требованиям ТЗ, стандартам и другой нормативной документации, а также принимать обоснованные решения для внесения изменений в проектирование ЭКБ и ЭА с целью оптимизации показателей ее качества и надежности.

3.7. ЭМ ЭКБ и ЭА позволяет улучшать показатели процесса проектирования и изготовления, такие как стоимость, сроки и содержание работ на тех или иных этапах. Одним из эффективных с этой точки зрения решений является замена натуральных испытаний физического макета или опытного образца математическим моделированием.

3.8. ЭМ ЭКБ и ЭА формируется при проектировании, и в нее могут быть внесены изменения на этапах изготовления и эксплуатации с учетом реальных условий производства на заводе и эксплуатации на конкретном объекте установки. Подобные разрешения дают проектировщики ЭКБ и ЭА после дополнительного исследования ЭМ. Поэтому ЭМ ЭКБ и ЭА хранится в головной проектной организации, а на стадии изготовления и эксплуатации передается в электронном виде только та ее часть, которая относится к технологической или эксплуатационной документации.

3.9. Еще на этапе концептуального проектирования использование ЭМ позволяет провести анализ альтернативных подходов и выбрать наиболее верное решение. При конструировании она помогает оценить внешние формы частей, их стыковку и согласованность друг с другом в рамках единой ЭА. Применение ЭМ повышает наглядность и упрощает процесс управления проектированием ЭКБ и ЭА в распределенной среде корпоративной сети.

3.10. Автоматизированная система, предлагаемая для использования при комплексном моделировании ЭКБ и ЭА для формирования ЭМ, состоит из ряда проблемных подсистем, позволяющих комплексно моделировать все основные физические процессы для различных уровней иерархии современных наукоемких ЭКБ и ЭА. Комплексное моделирование электрического, теплового, механического и других физических процессов в ЭА (до уровня ЭКБ) с использованием только одного программного средства невозможно. Поэтому для его проведения потребуется несколько моделирующих программ, между которыми необходимо поддерживать связь на уровне входных-выходных данных.

3.11. Рекомендуемая автоматизированная система включает в себя средства моделирования электрических, тепловых, механических и других физических процессов, а также средства оценки надежности и качества ЭКБ и ЭА и обеспечивает дополнение конструкторской документации результатами расчетов и моделями, по которым эти расчеты проведены.

3.12. На базе рекомендуемой автоматизированной системы формируется ЭМ создаваемой ЭКБ и ЭА, в которую помещается вся информация, накопленная на всех стадиях жизненного цикла. ЭМ позволяет инженеру моделировать любые процессы в ЭКБ и ЭА и вносить

любые изменения в ее конструкцию и схему так, как если бы это был реальный объект.

3.13. ЭМ включает в себя:

- электронную документацию для производства и эксплуатации;
- алгоритмы проектирования;
- комплексные модели физических процессов в схемах и конструкциях ЭКБ и ЭА;
- результаты комплексного моделирования физических процессов в ЭКБ и ЭА;
- диагностические модели;
- инструменты конвертации;
- комплект информационно-логических методик проектирования ЭА в стандарте IDEF.

3.14. Для разработки высоконадежных ЭКБ и ЭА важное значение имеет систематизация, накопление, хранение и отображение информации. Для этого применяются системы электронного документооборота (PDM-системы). Накопленная информация используется на всем жизненном цикле изделия и включает в себя:

- информацию о конфигурации и структуре ЭКБ и ЭА;
- комплексные модели электрических, тепловых, механических и других физических процессов и результаты их анализа;
- характеристики и свойства ЭКБ и ЭА;
- организационную информацию (описание процессов, связанных с изменением данных о ЭКБ и ЭА, необходимые ресурсы – люди, материалы и т.д.);
- информацию о проведенных контрольных испытаниях.

3.15. Интеграция программных продуктов позволяет осуществить сквозное автоматизированное проектирование ЭКБ и ЭА на основе комплексного моделирования физических процессов.

3.16. Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне ЭМ ЭКБ и ЭА, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой управления моделированием. Такие интерфейсы позволяют преобразовать совокупность информационных объектов ЭМ ЭКБ и ЭА, описывающих исходные

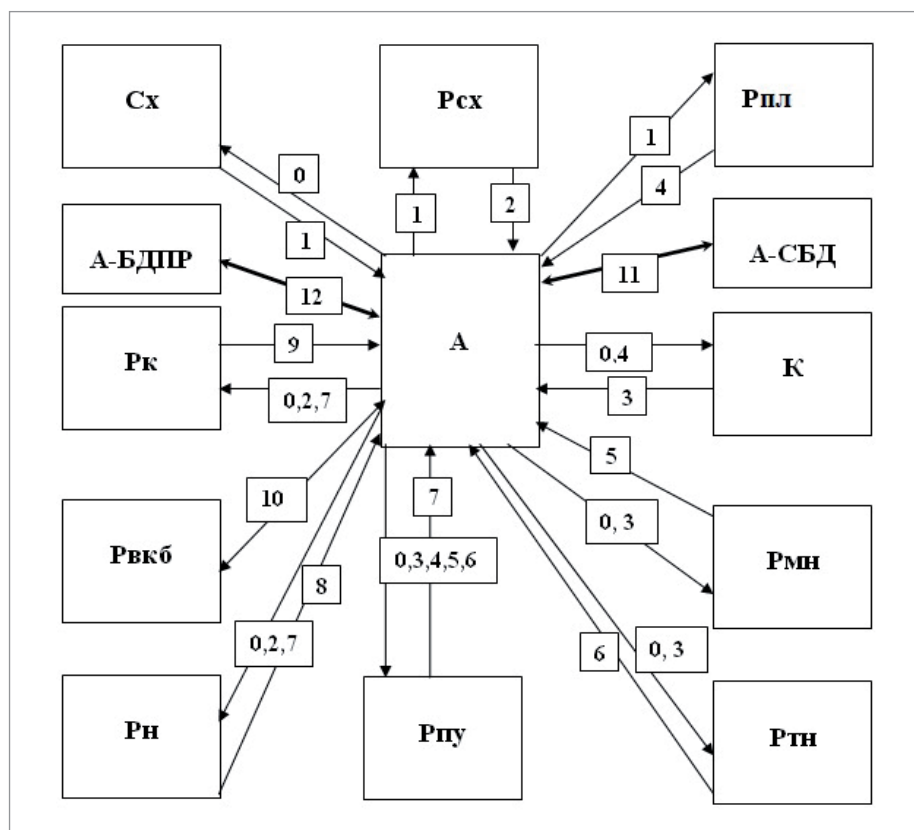


Рис. 2. Структура виртуального КБ

данные для целевой подсистемы, в файлы проекта этой подсистемы и, наоборот, преобразовать файлы проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов электронной модели ЭКБ и ЭА и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, гарантируя однозначность представления информации в ЭМ ЭКБ и ЭА.

4. Взаимодействие работников при проектировании ЭКБ и ЭА

4.1. Для обеспечения взаимодействия работников при проектировании ЭКБ и ЭА требуется организовать виртуальное конструкторское бюро (ВКБ), схема которого представлена на рис. 2.

4.2. Пояснения к рис. 2:

- А – администратор виртуального КБ;
- Сх – разработчик электрической схемы;
- Рсх – расчетчик электрической схемы;
- Рпл – разработчик платы в программе трассировки и размещения печатных плат;
- К – конструктор шкафов, блоков, печатных узлов;
- Рмн – расчетчик механических характеристик несущих конструкций;

- Ртн – расчетчик тепловых характеристик несущих конструкций;
- Рпу – расчетчик тепловых и механических характеристик ПУ;
- Рн – расчетчик надежности ЭКБ и ЭА;
- Рк – разработчик карт рабочих режимов (КРР);
- Рвкб – руководитель виртуального КБ;
- А-СБД – администратор справочной БД ЭКБ и материалов конструкций (сопровождает БД, в том числе заносит новые данные);
- А-БДПР – администратор БД проектных решений, где хранится ЭМ изделия (сопровождает БД, в том числе осуществляет импорт и экспорт ЭМ);
- 0 – техническое задание на разработку ЭКБ и ЭА;
- 1 – электрическая принципиальная схема, перечень ЭКБ, требования к расчету по входным и выходным данным;
- 2 – результаты расчета электрической схемы, исходные файлы схемы и результирующий файл *.csd;
- 3 – чертежи несущих конструкций, а также окончательные чертежи ПУ со спецификациями;
- 4 – результаты размещения и трассировки ПУ, выходные файлы про-

граммы трассировки и размещения ПУ;

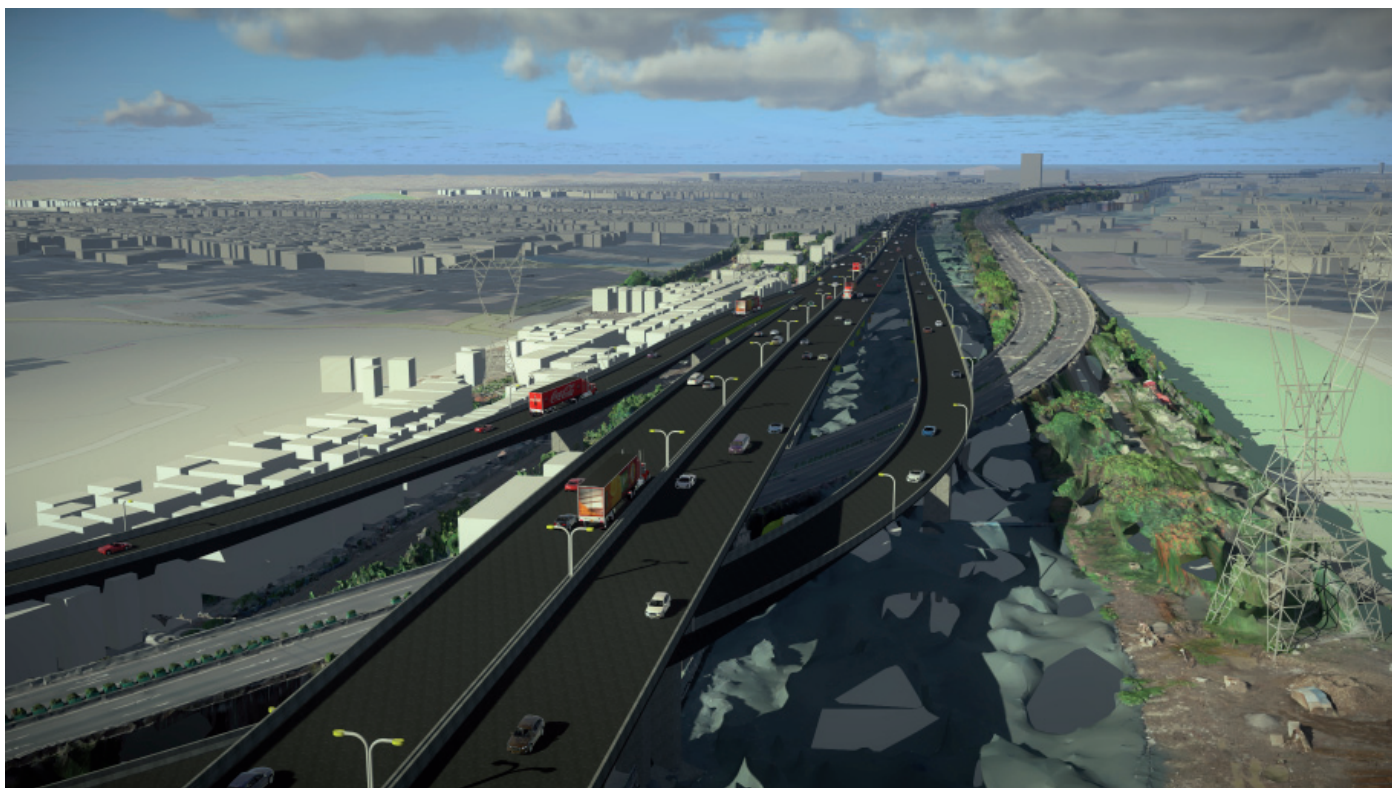
- 5 – рассчитанные механические характеристики несущих конструкций;
- 6 – рассчитанные тепловые и другие характеристики несущих конструкций;
- 7 – рассчитанные тепловые, механические и другие характеристики ПУ;
- 8 – рассчитанные показатели надежности изделия;
- 9 – разработанные КРР;
- 10 – ЭМ изделия, включающая в себя электронные чертежи и модели физических процессов, а также полный отчет по результатам автоматизированного проектирования;
- 11 – геометрические, электрические, теплофизические, физико-механические, надежностные и другие параметры ЭКБ и конструкционных материалов;
- 12 – электронная модель ЭКБ и ЭА, полный отчет по результатам автоматизированного проектирования.

(Окончание следует)

*Александр Шалумов,
д.т.н., профессор,
академик Международной академии
информатизации,
лауреат премии Правительства РФ
в области науки и техники,
генеральный директор
ООО "НИИ "АСОНИКА";
председатель технического комитета
по стандартизации ТК 165
"Системы автоматизированного
проектирования электроники"
E-mail: als@asonika-online.ru*

Литература

1. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.
2. Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.
3. Шалумов А.С., Шалумов М.А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 422 с.



Bentley[®]
Advancing Infrastructure

➤ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНОГО МОСТА В ПОРТУ ТЕЛУК ЛАМОНГ

РТ. Wijaya Karya (Persero), Tbk.
Гресик–Сурабая, Восточная Ява, Индонезия

Проект

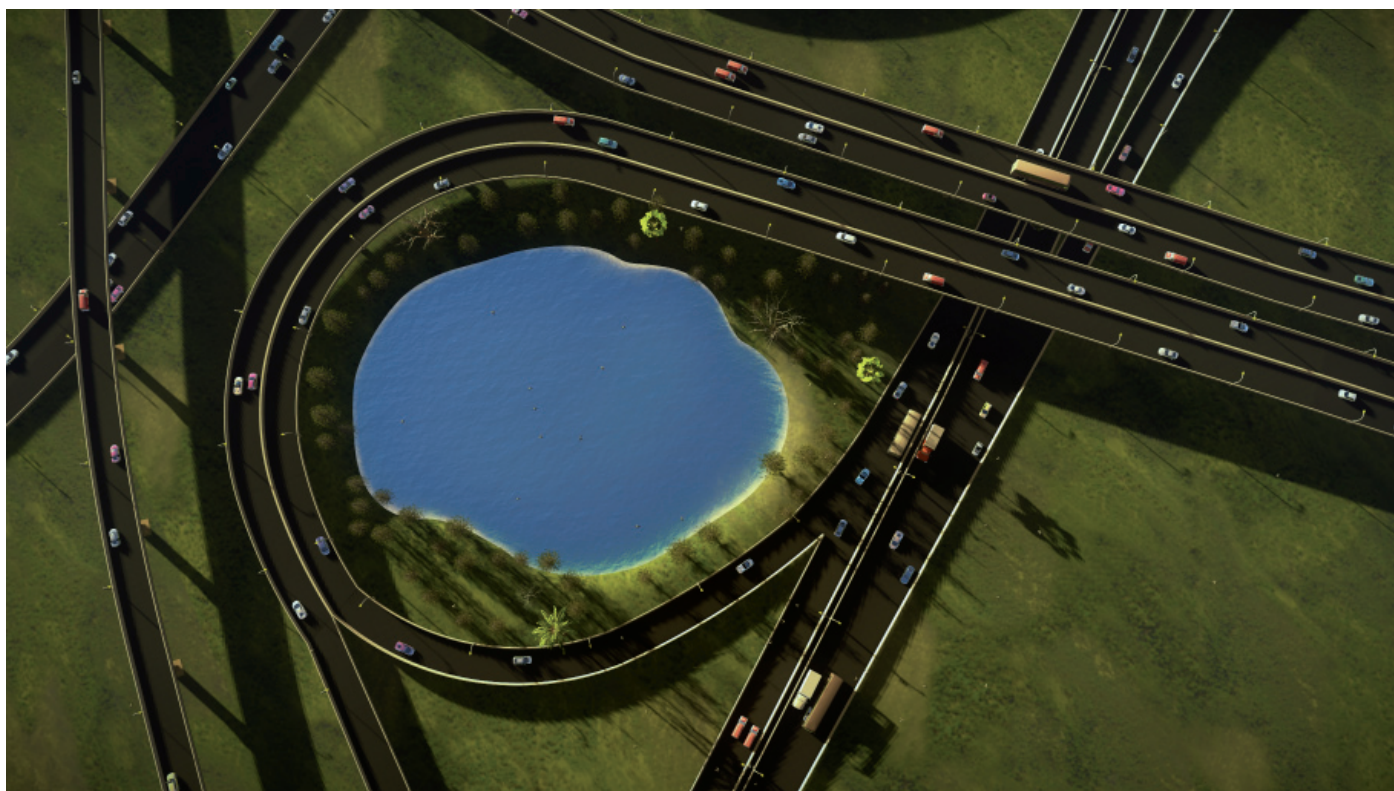
В рамках Национальной стратегической программы правительство Индонезии выделило 1,3 триллиона индонезийских рупий на реализацию проекта по созданию эстакады Телук Ламонг для снижения загруженности автомобильных трасс в направлении терминала Lamong Bay (провинция Восточная Ява). В качестве основного подрядчика для осуществления проектирования и строительства моста длиной 2,4 километра была выбрана компания Wijaya Karya (WIKA). Ис-

пользование трехмерных BIM-моделей и стратегий моделирования реальности позволило ей выполнить работы по проекту в максимально сжатые сроки – всего за один год.

Решение

Для топографической съемки компания WIKA использовала дроны и на основе полученных изображений создавала цифровые модели реальности с помощью программного обеспечения ContextCapture и LumenRT, тем самым

оптимизируя стратегии проектирования. Программы LEAP, OpenBridge Modeler и OpenBuildings Designer (ранее – AECOSim Building Designer) позволили WIKA создать и проанализировать интеллектуальные 3D-модели для последующей интеграции с моделью реальности, чтобы определить последовательность этапов строительства. Благодаря единой среде моделирования, а также использованию технологии 3D-проектирования Bentley и технологии ProjectWise в качестве платформы для совместной работы



компания получила возможность предоставить интегрированное цифровое BIM-решение, которое упрощает выявление нестыковок и обеспечивает своевременную реализацию проекта.

Результат

Система трехмерного моделирования Bentley позволила быстро выявить нестыковки и избежать финансовых потерь. Это обеспечило возможность сократить время проектирования на две недели, а время расчета объемов земляных работ — на 52 дня. Благодаря 3D-приложениям Bentley сотрудникам компании удалось оптимизировать рабочий процесс и составить подробный рабочий проект за 34 дня.

Программное обеспечение

Для проектирования железобетонных конструкций и металлоконструкций моста, а также для точного расчета производственных затрат компания WICA использовала приложения LEAP и OpenBridge Modeler. Это позволило добиться существенного сокращения сроков строительства при сохранении высокого качества. Программное обеспечение ProStructures упростило создание эскизного и рабочего проектов, проектной документации, а также расчет производ-

ственных затрат и сроков выполнения работ. ПО ProjectWise и Navigator Mobile обеспечило оптимизацию обмена информацией и формирование единой среды данных, помогло проектной груп-

«Этот исключительный по своей функциональности инструмент для проектирования строительных объектов обеспечивает глобальную совместимость, позволяющую решать сложнейшие задачи XXI века.

*Новиас Нурендра,
генеральный директор отдела
разработки систем PT. Wijaya Karya*

пе повысить эффективность управления проектом и уложиться в установленные сроки.

*По материалам компании
Bentley Systems*

ПО, применявшееся в проекте

ContextCapture, Descartes, LEAP, LumenRT, Navigator, OpenBridge Modeler, OpenBuildings Designer, OpenRoads, ProjectWise, ProStructures.

- Компания WICA использовала BIM-систему Bentley для оптимизации процесса работы над проектом по созданию эстакады в порту Телук Ламонг. Стоимость проекта — 1,3 трлн индонезийских рупий.
- С помощью приложений ContextCapture и LumenRT специалисты компании создали иммерсивные модели реальности для автоматического обнаружения конфликтов между предложенным проектом и существующей инфраструктурой и для обеспечения соответствия ограничениям объекта.
- Использование приложений LEAP и OpenBridge Modeler для формирования и анализа трехмерных моделей и создания автоматизированных ведомостей объемов работ обеспечило экономию в 3,9 млрд индонезийских рупий.
- Совместимые приложения Bentley позволили оптимизировать рабочий процесс и реализовать проект в течение одного года.



> CADLib Модель и Архив

Представляем CADLib Модель и Архив – информационную систему для поддержки жизненного цикла объектов капитального строительства и технологического оборудования промышленных предприятий, которая обеспечивает управление процессом проектирования, информационную поддержку в процессе строительства и эксплуатации зданий, сооружений и оборудования. Система объединяет 3D-модели по всем специальностям в общую модель для выполнения проверок, получения отчетов и проведения анализа.

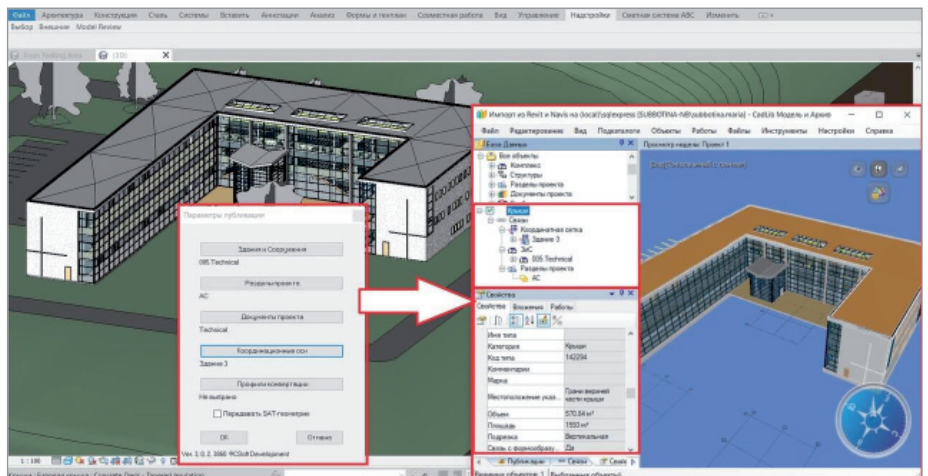
Основные задачи

Публикация в базу данных проекта из приложений Autodesk

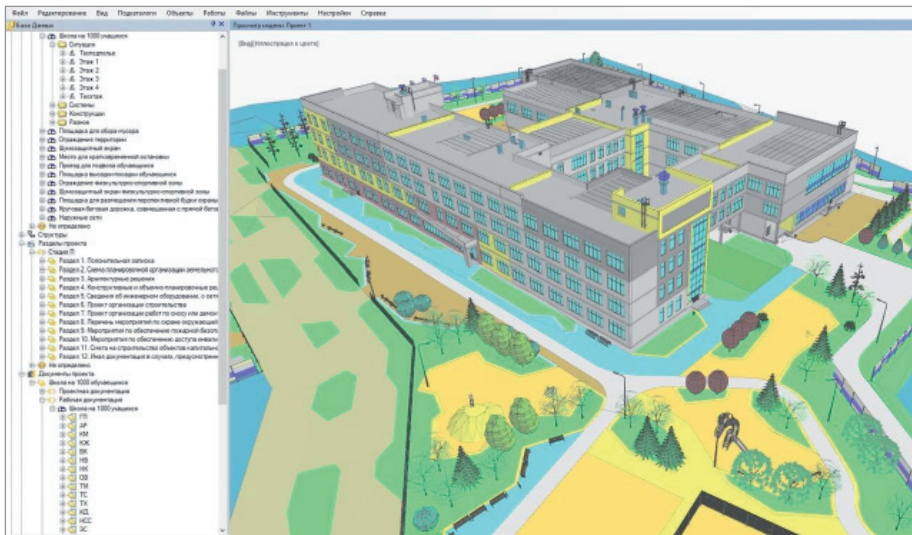
В процессе выполнения работ проектировщики смежных специальностей используют самое разнообразное программное обеспечение. Для создания

максимально взаимосвязанной 3D-модели компания CSoft разработала плагины, обеспечивающие прямую публикацию 3D-модели и 2D-документации из программных продуктов Autodesk Revit, Autodesk Navisworks и Autodesk Inventor.

Плагины позволяют привязать 3D-объекты к нужному уровню иерархии базы данных проекта и координатной сетке. Двумерные чертежи при публикации привязываются к карточке документа в структуре документов проекта.



Публикация из Revit



Структура базы данных

Объекты базы данных распределены по иерархическим структурам: структуре зданий и сооружений и структуре разделов проекта. CADLib Модель и Архив поддерживает возможность создания иерархии разделов согласно требованиям Минстроя и Госэкспертизы по Постановлению № 87, а также по ГОСТ Р 21.1101.

Интеграция с Технологическими схемами

Инструменты иерархии CADLib Модель и Архив позволяют проработать структуру для строительных объектов как гражданского, так и промышленного назначения. Кроме того, при комплексной работе в Model Studio CS и использовании программного продукта Model Studio CS Технологические схемы такая структура формируется автоматически на основании данных технологической схемы, а затем с ее помощью осуществляется подбор оборудования в Model Studio CS Трубопроводы. Для базы данных проекта в CADLib Модель и Архив разработан инструмент, позволяющий выполнять проверку соответствия объектов модели объектам схемы.

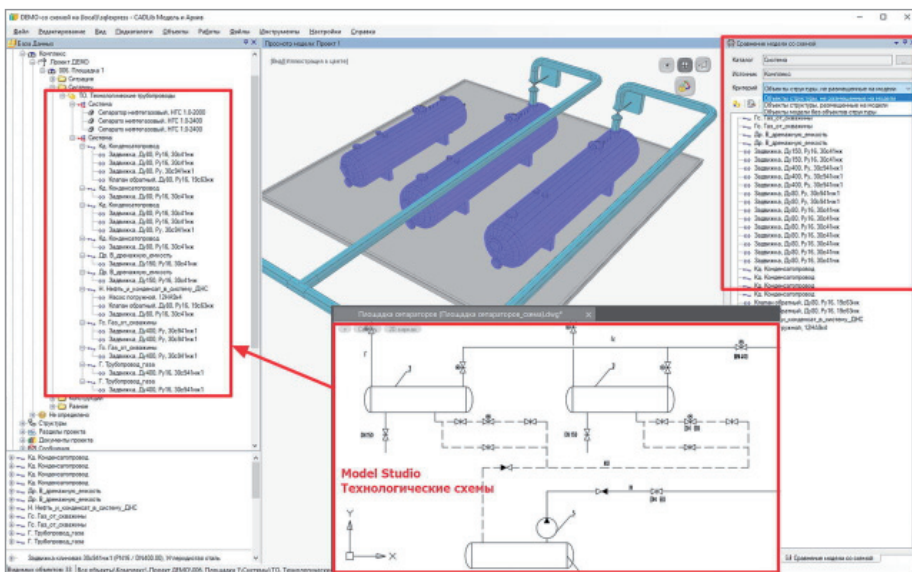
Отображение систем

В CADLib Модель и Архив поддерживается разветвленная иерархия объектов. Стандартное распределение объектов по зданиям/сооружениям и разделам проекта дополнилось возможностью разделять объекты по системам, подсистемам, линиям, группам оборудования и т.д. Такое распределение позволяет осуществлять визуальный анализ инженерных систем, получать отчеты по выбранной структуре, отображать/скрывать объекты иерархии в окне просмотра модели или в чертеже. Структура систем может быть как задана вручную, так и импортирована из расчетной программы HYSYS с помощью файла CSV.

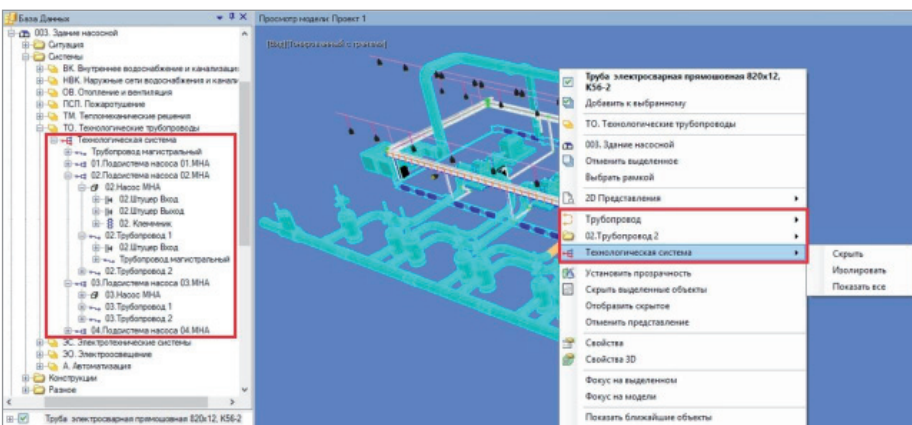
Цветовое представление модели

Использование разветвленной структуры открывает дополнительные возможности визуального анализа комплексной 3D-модели. Благодаря инструменту *Представления модели* пользователь может выполнить контрастную раскраску 3D-модели, основываясь на значениях заданного параметра. При использовании данной разветвленной иерархии систем можно создать представление модели, в котором каждая система или ее часть будут отображаться разными цветами. Это улучшит восприятие инженерных

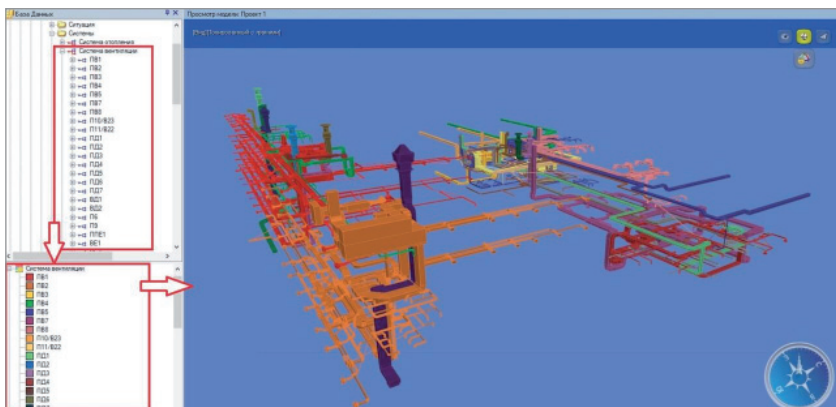
Структура по Постановлению № 87



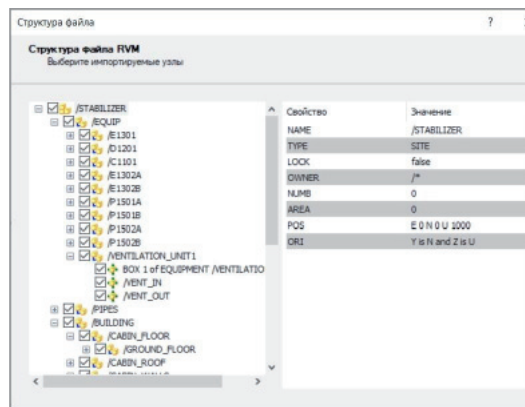
Интеграция с Model Studio CS Технологические схемы



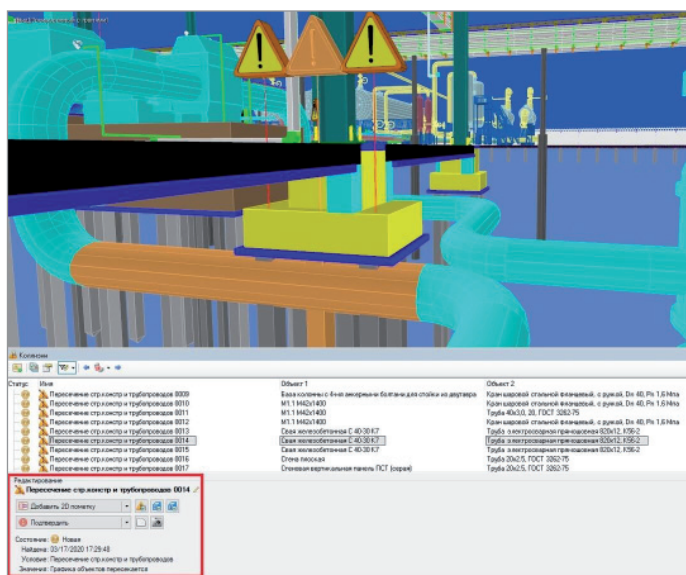
Отображение систем



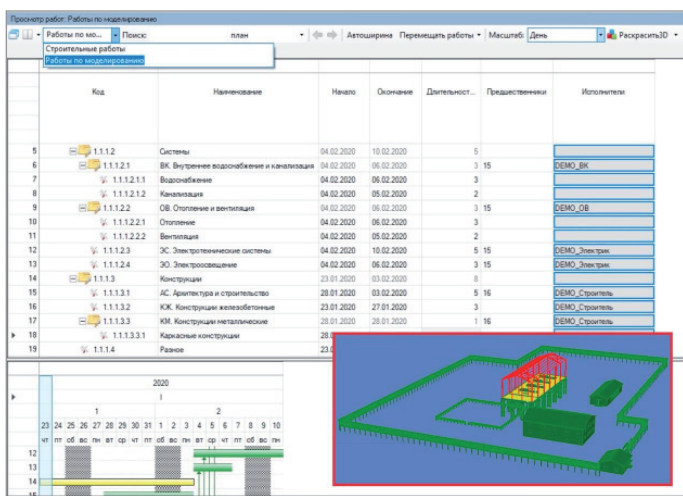
Цветовое представление модели на примере системы вентиляции



Импорт из AVEVA PDMS



Поиск коллизий



Календарный план

и технологических систем. Раскраску легко отменить и вернуться к стандартной цветовой палитре.

Поддержка импорта файлов из AVEVA PDMS

Новый функционал импорта данных из программного продукта AVEVA PDMS позволяет импортировать в базу данных проекта трехмерную графику с атрибутами, связанную с собственной иерархией. Иерархия систем импортируется в базу проекта и встраивается в иерархию свободных структур.

Проверка на предмет коллизий

Приложение предоставляет инструменты проверки совмещенной 3D-модели на наличие пересечений между объектами, нарушение допустимых расстояний, наличие требуемых объектов, соответ-

ствие параметров 3D-объектов заданным требованиям и др. Найденные коллизии анализируются с помощью окна коллизий, а заинтересованные специалисты получают сообщения об обнаруженных нарушениях.

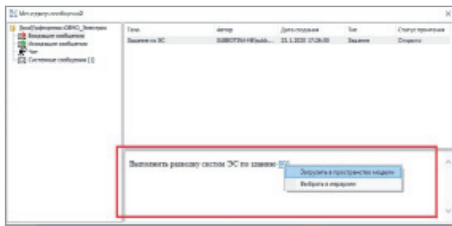
Дополнительные возможности календарного планирования

CADLib Модель и Архив поддерживает использование нескольких календарных планов. Например, это могут быть проекты моделирования объектов, строительства, технического обслуживания, ремонта. Список работ можно импортировать из MS Project, задать вручную или создать автоматически на основе структуры проекта. Из списка пользователей базы для каждой работы назначается исполнитель, который получит автоматическое сообщение о назначенной работе.

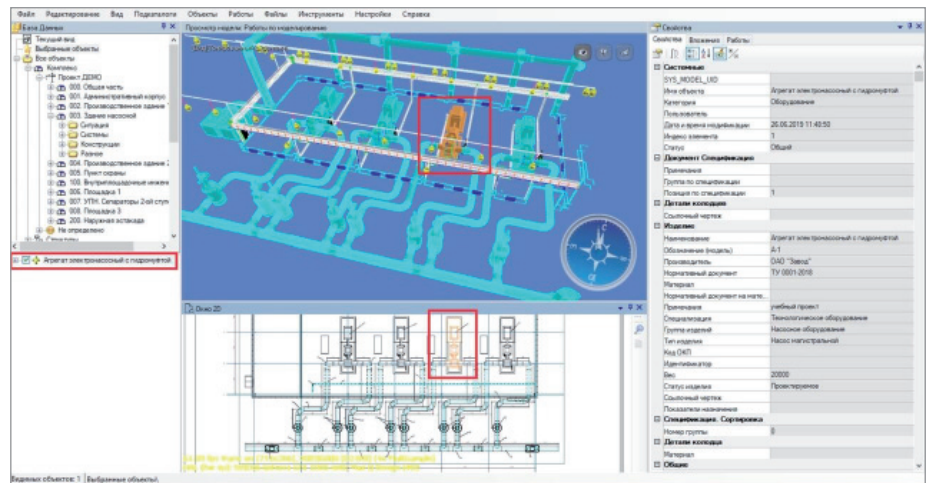
Для строительных и ремонтных работ можно привязывать к графику соответствующие 3D-объекты — это позволит проводить визуальный анализ процесса строительства или ремонта на 3D-модели в зависимости от времени. Поддерживается ведение планового и фактического графиков работ и их сравнение на диаграмме Ганта.

Обмен сообщениями внутри базы данных проекта

Инструмент обмена сообщениями внутри проекта предоставляет полезные возможности ведения переписки между участниками. В сообщениях можно добавлять ссылки на 3D-объекты проекта или объекты иерархии, чтобы получатель мог отобразить их на модели в CADLib Модель и Архив или в Model Studio CS. После поиска коллизий мож-



Пользовательские сообщения



Связь 2D и 3D

но выполнить автоматическую отправку сообщений всем пользователям, опубликовавшим объекты, с которыми возникли коллизии. Сообщения привязаны к конкретному проекту, поэтому участвовать в переписке могут только пользователи, подключенные к базе данных. Сообщения невозможно удалить из базы проекта, что способно помочь при возникновении спорных ситуаций.

Связь между 2D-чертежами и 3D-объектами

Поддержка связи между трехмерными объектами и их обозначениями на чертеже позволяет отобразить в CADLib Модель и Архив все 2D-чертежи, получен-

ные в Model Studio CS по 3D-модели. При этом связь между 2D- и 3D-объектами двусторонняя: при выборе 3D-объекта можно перейти к соответствующему ему 2D-объекту, и наоборот.

Новые возможности

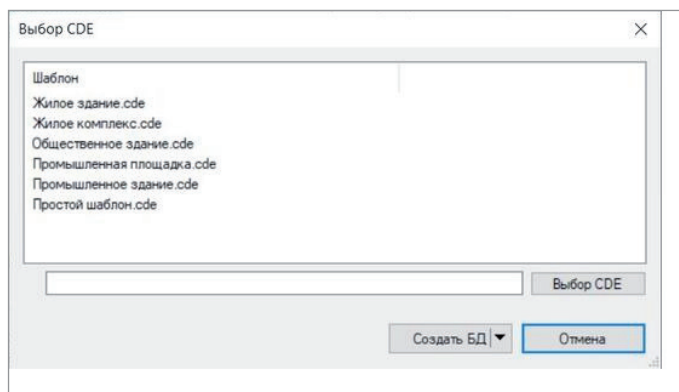
Использование шаблонов для создания базы

Дополнительным удобством для администраторов проекта и BIM-менеджеров стала возможность использования шаблонов при создании новой базы. В качестве шаблона используется файл CDE, который можно создать на основе существующей базы данных. В комплект по-

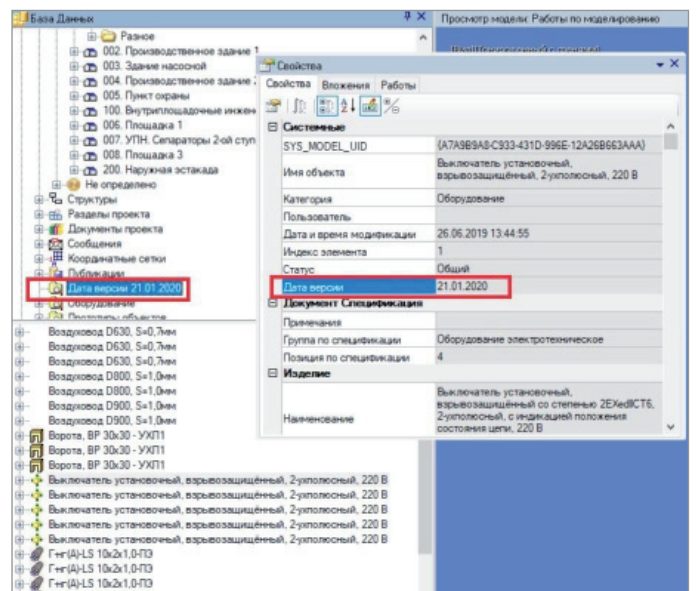
ставки включены шаблоны промышленных площадок и гражданского здания, в каждом шаблоне заданы иерархии разделов проектной документации по Постановлению № 87.

Добавление параметров импортируемым объектам

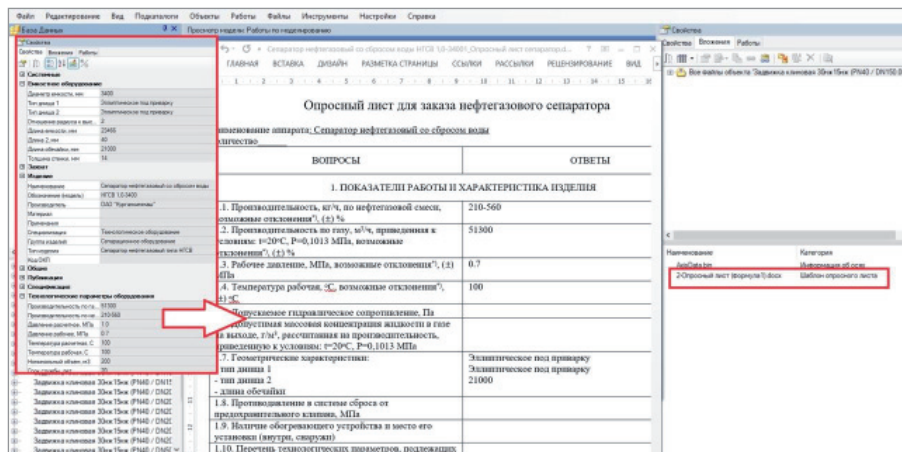
При импорте объектов базы данных из файла CDE может использоваться инструмент, позволяющий добавить выбранным объектам новые параметры, — например, дату импорта или номер версии импортируемой базы. Эта возможность позволяет добавлять параметры как корневым, так и дочерним объектам.



Создание базы по шаблону



Присвоение параметра импортируемым объектам



Получение опросных листов

Формирование опросных листов

Проектировщики оценят новый инструмент, позволяющий автоматически формировать опросные листы для выделенных объектов. В зависимости от информации, которая должна быть передана в опросный лист, создается шаблон листа на основе атрибутов объектов, а уже

на базе этого документа компонуются опросные листы выбранных объектов.

CADLib Персональная модель – приложение для просмотра базы проекта

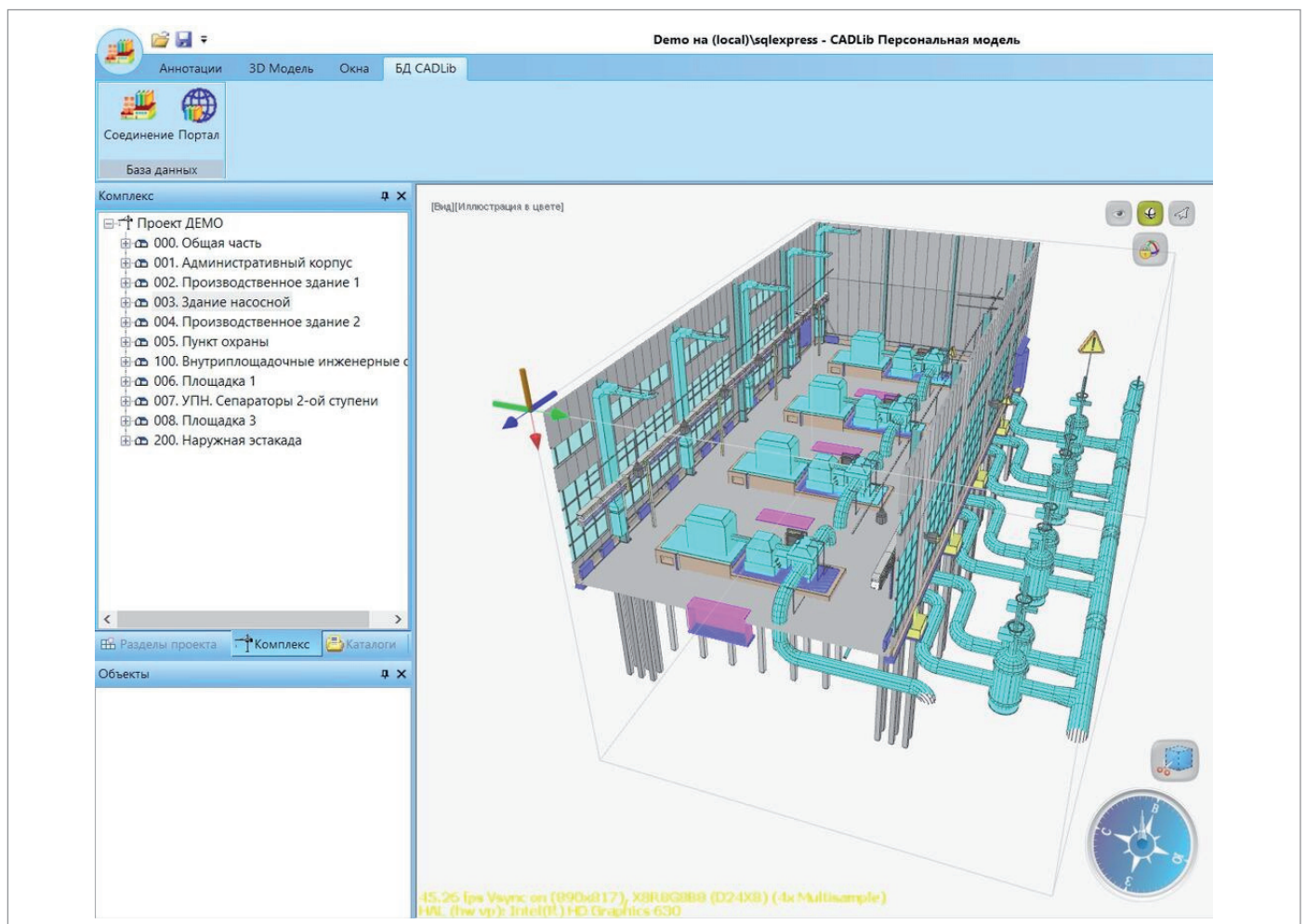
Модель проекта нередко требуется просмотреть на рабочих местах без доступа к серверу базы данных – например,

в офисе заказчика или на стройплощадке. Для таких задач разработано приложение CADLib Персональная модель. Это свободно распространяемое программное обеспечение позволяет открыть из базы данных файл информационной модели, просмотреть 3D-объекты и 2D-документы, выполнить измерения, создать заметки.

Заключение

CADLib Модель и Архив представляет собой инструмент управления 3D-проектом, позволяющий объединить в едином информационном пространстве комплексную трехмерную модель промышленного предприятия или объекта строительства, документацию, спецификацию, календарный план и любую другую информацию по объекту. Это решение позволяет настроить уровень доступа каждого сотрудника и структуру проекта, а также обеспечить многопользовательскую работу.

*По материалам
ГК CSoft*



Применение инструмента обрезки вида в CADLib Персональная модель



ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ С НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ



Единое
информационное
пространство
NormaCS



Возможности
интеграции
с внешним ПО



Плавающая
система
лицензирования



Ежедневное
обновление



Открытый API



НОРМААУДИТ



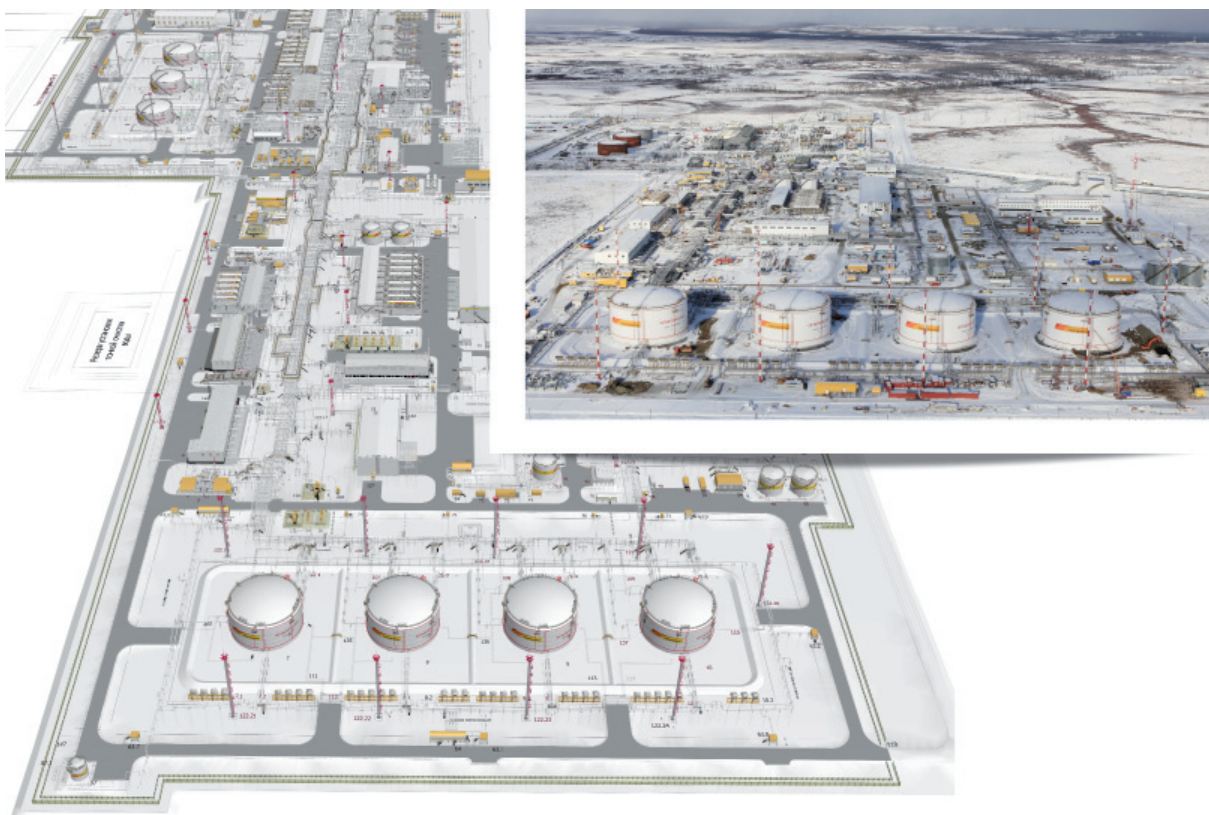
Сертификат
соответствия
Росстандарта



Создание баз
собственных
документов



Автоматизация
нормоконтроля



➤ ГИПРОТЮМЕННЕФТЕГАЗ

проектирует технологический комплекс УПСВ, предназначенный для дегазации и обезвоживания нефти на Северо-Ванкорском месторождении в Сибири

Программное обеспечение Bentley помогает сократить время и затраты на проектирование.

Проект

Нефтегазовое месторождение УПСВ-Север расположено в Туруханском районе Красноярского края России и находится в ведении "Банкорнефти", дочерней компании "Роснефти". Оно представляет собой целый комплекс сооружений, расположенный в зоне вечной мерзлоты, который осуществляет дегазацию и обезвоживание нефти в соответствии со строгими отраслевыми стандартами. Исследовательский институт "Гипротюменнефтегаз" осуществил подробное инженерно-техническое проектирование комплекса, включающее съемку для создания цифровой модели поверхности и взятие почвенных образцов для расчета веса

и давления, чтобы гарантировать устойчивость вечной мерзлоты.

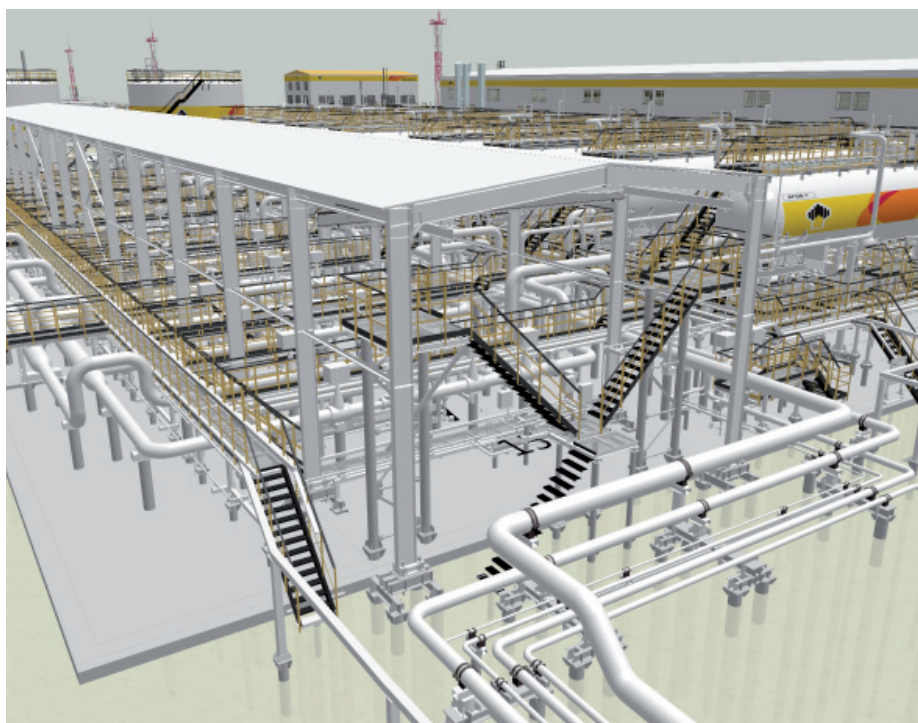
Решение

Генеральный план комплекса предусматривает строительство множества обрабатывающих заводов. Институт рассчитал основные технологические потоки, выбрал оборудование, разработал производственные схемы и последовательно, осуществил расчет прочности трубопроводов и сформировал схему сети инженерно-технического обеспечения. Была создана 3D-модель с более чем 300 функциональными положениями. ПО Bentley позволило автоматизировать вычисления (что способствовало повы-

шению скорости и точности), обеспечить возможность одновременной работы над разнородными сведениями и создать единый источник достоверных данных.

Результат

Каждая позиция модели была комплексным технологическим объектом, для которого требовалось одновременно задействовать несколько технических дисциплин. Использование технологии 3D-моделирования от Bentley на этапе проектирования позволило упростить обмен данными, свести к минимуму количество ошибок в проектной документации и автоматизировать такие трудоемкие процессы, как обнаружение кол-

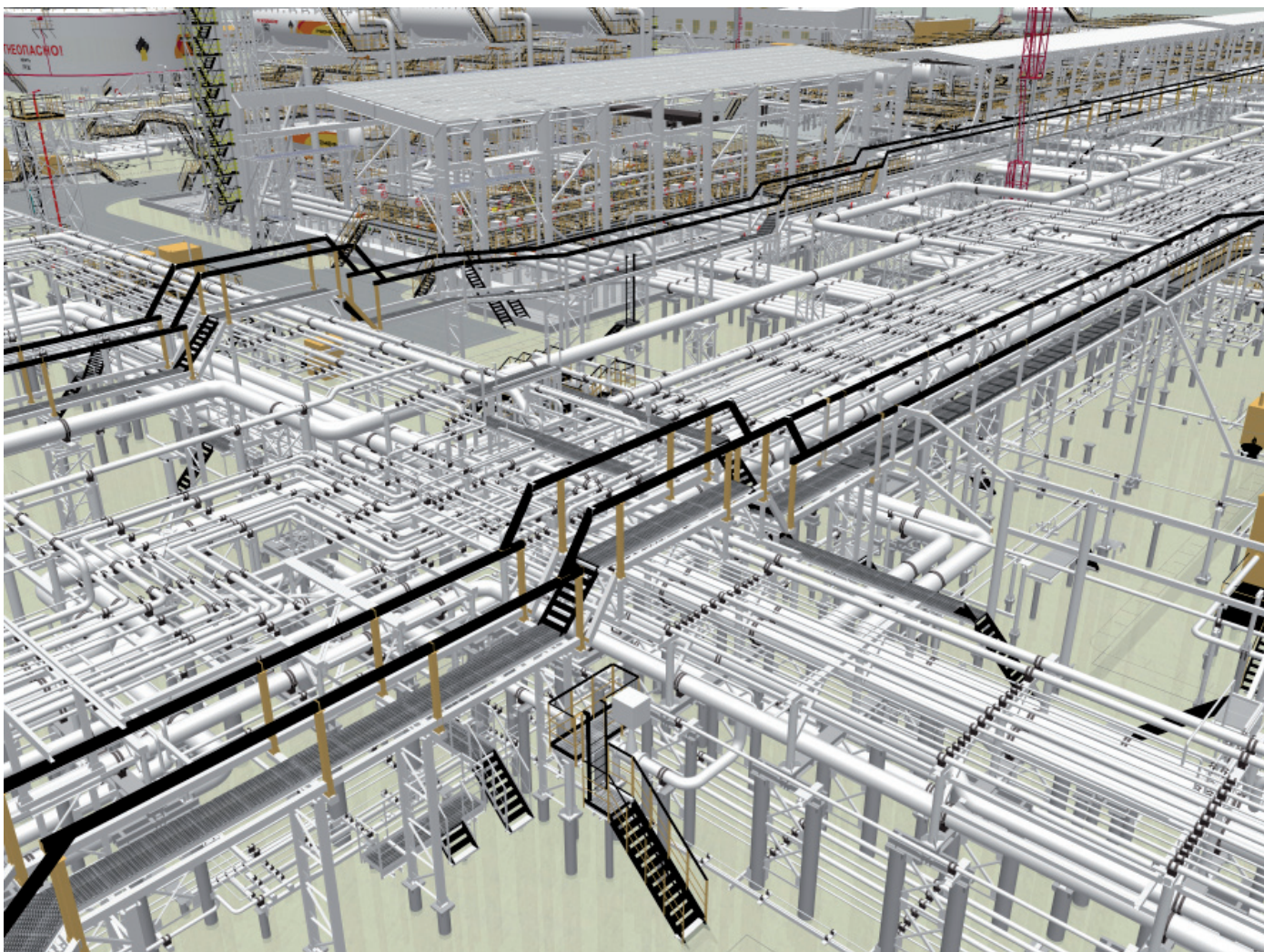


лизий и создание спецификаций и расчетных показателей. С помощью ПО Bentley удалось сократить время разработки проекта в 1,5 раза, а проектные расходы – на 15-20%.

Программное обеспечение

С помощью PlantSpace, AutoPIPE, Bentley Descartes, Promis.e и других приложений Bentley команда института смогла выбрать оборудование, рассчитать прочность, проанализировать статические и динамические нагрузки для технологического трубопровода. Благодаря базам данных трубопровода и оборудования работа по проекту шла параллельно с проектированием зданий и инфраструктуры. Система документооборота на базе интранет-портала была интегрирована в приложения Bentley, что позволило снизить вероятность использования недостоверной информации.

*По материалам компании
Bentley Systems*





➤ 9 ПРИМЕРОВ, КОГДА Archicad ПОМОГ ИЗБЕЖАТЬ ПРОБЛЕМ

В этой статье рассмотрены реальные случаи при разработке рабочей документации проектной организацией, специализирующейся на проектировании промышленных объектов.

На ранних этапах развития организации все специалисты пользовались при проектировании двумерными чертежными программами, что затрудняло согласование разделов между собой и приводило к большому количеству ошибок, часть которых порой приходилось исправлять уже на стройке. Цена ошибок оказывалась очень высокой, необходимость перемен была очевидна и руководству, и исполнителям.

В силу специфических особенностей проектирования технологических трубопроводов в химической промышленности первыми на путь освоения информационного моделирования вступили технологи-монтажники. Затем подключились архитекторы. При всех нюансах промышленного проектирования выбор программного обеспечения для архитекторов сомнений не вызывал: признанным лидером в создании ПО для архитектурного проектирования является компания GRAPHISOFT, разработчик программы Archicad. В статье мы рассмотрим примеры использования Archicad для решения рабочих задач при проектировании промышленных объектов. Опытные пользователи, скорее всего,

не найдут здесь для себя много нового, но, возможно, эта информация будет полезна тем архитекторам, кто только начинает осваивать программу.

Пример № 1

В здании склада кислот требовалось разработать узлы облицовки железобетонных поверхностей (лотков, приемков, фундаментов, бортиков) кислотостойким кирпичом и определить объемы требуемого для облицовки материала. Исполнитель раздела АР поленился смоделировать лотки и приемки в 3D, по

обыкновенно выполнив двумерные чертежи (рис. 1-3).

Узлы проработаны достаточно детально, потрачено огромное количество времени, но объемы кирпича были посчитаны по старинке — на бумажке вручную. Требовалась проверка количества кирпича, указанного в рабочей документации. Пришлось лотки и приемки, бортики и фундаменты — всё, что должно быть облицовано кислотостойким кирпичом, — выполнить трехмерно, подрезав необходимые элементы и разделив облицовку по слоям (рис. 4).

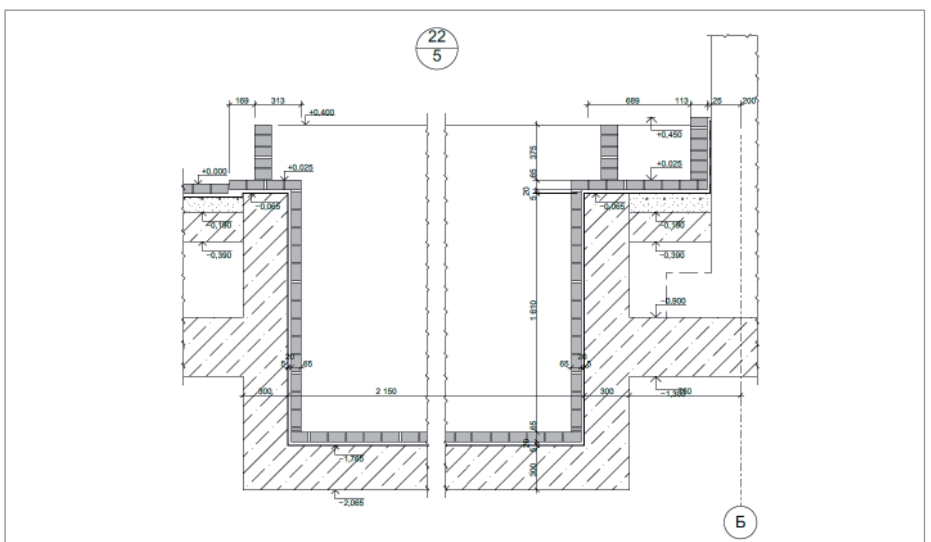


Рис. 1. Фрагмент рабочей документации комплекта АР. Облицовка кислотоупорным кирпичом технологического приемка

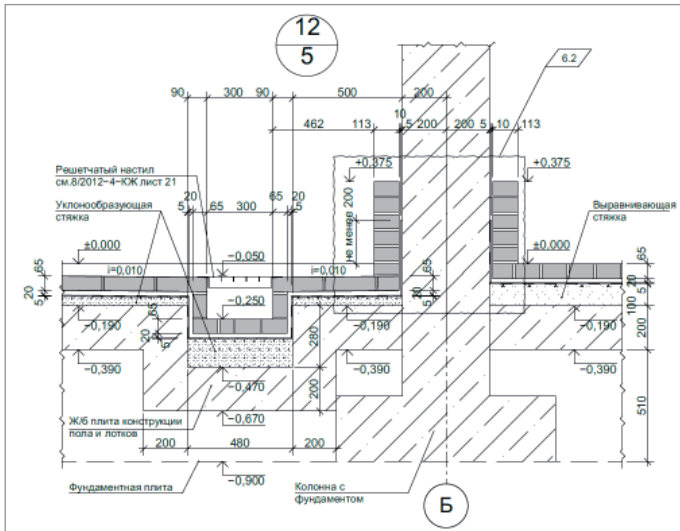


Рис. 2. Фрагмент рабочей документации комплекта АР. Облицовка кислотоупорным кирпичом сливного лотка и бортиков

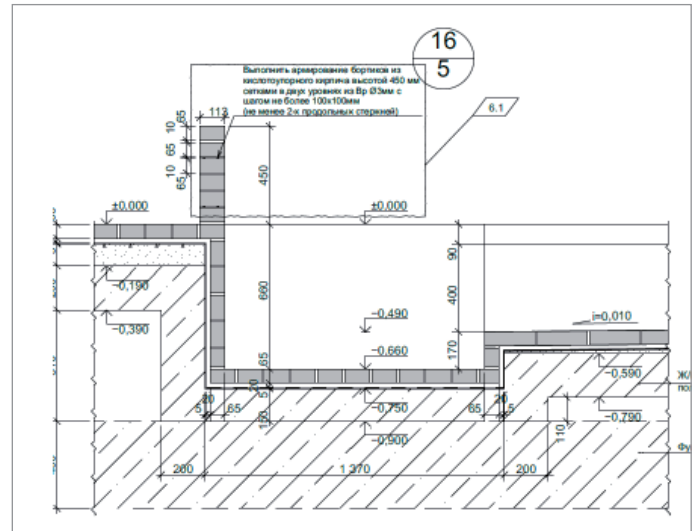


Рис. 3. Фрагмент рабочей документации комплекта АР. Облицовка кислотоупорным кирпичом сливного лотка, прямая и выполнение бортика

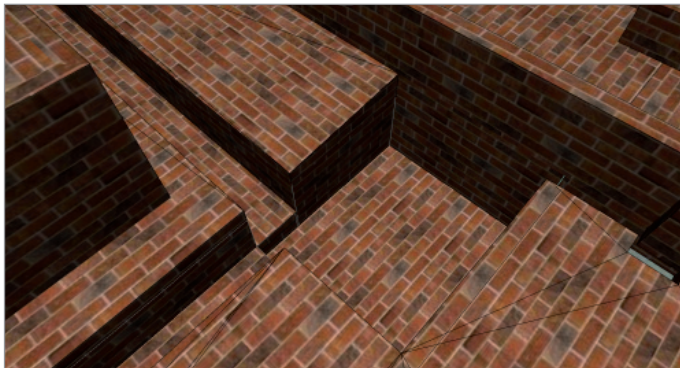


Рис. 4. Фрагмент трехмерной модели здания склада кислот. Облицовка кислотоупорным кирпичом сливного лотка, прямая, фундамента под оборудование и бортика поддона

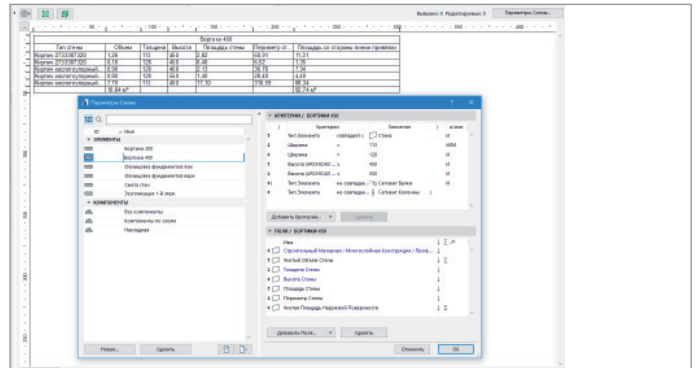


Рис. 5. Параметры Схемы Интерактивного Каталога и сама ведомость облицовки для бортиков высотой 450 мм

При подсчете материала были созданы новые сметы для всех инструментов, используемых в процессе моделирования облицовки (Стены, Перекрытия, Крыши – рис. 5).

Проверка выявила ошибку в подсчетах исполнителя, вычислявшего объемы кирпича на листке бумаги. Некоторые поверхности просто не были учтены ввиду двумерности чертежей и отсут-

ствия элементов в модели. Кирпича не хватало более чем в два раза. Ошибка была устранена на этапе закупки материала, что позволило избежать простоя рабочих в ожидании поставки недостающих объемов.

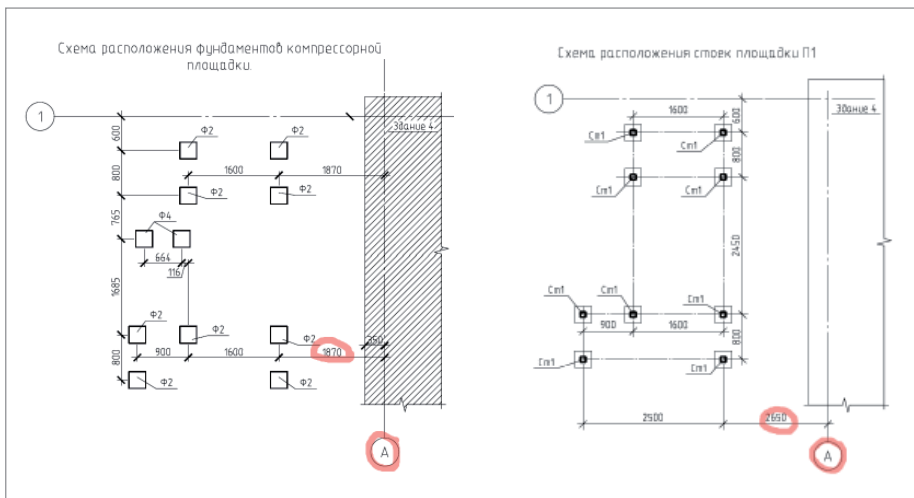


Рис. 6. Фрагменты рабочей документации марок КЖ и КМ. Несоответствие размеров привязки элементов (металлических стоек и фундаментов для них) к координационной оси "А"

Пример № 2

Уличная площадка ресиверов. Разработаны рабочие чертежи марок КЖ, КМ. Невнимательность исполнителя привела к несоответствиям привязок местоположения стоек площадки и фундаментов под них (рис. 6).

При согласовании чертежей отделом ТХ и проверке главного конструктора ошибка в привязках выявлена не была. Ее обнаружил архитектор, трехмерно отображая конструктивных элементов в разделе АР на этапе выполнения земляных работ для устройства фундаментов. Оперативное внесение изменений в чертежи позволило избежать лишних

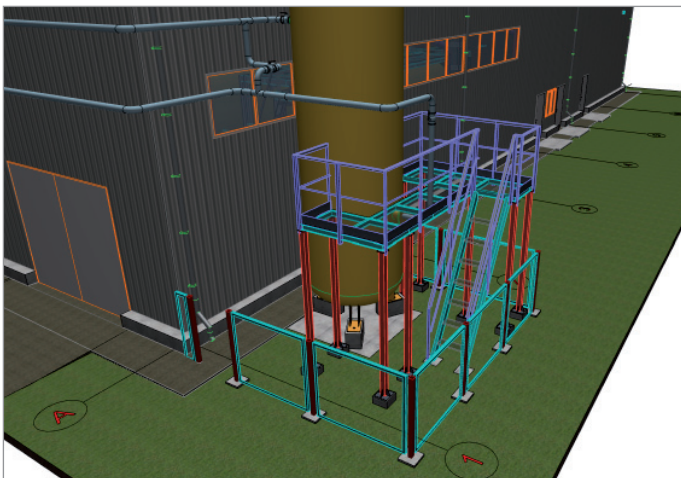


Рис. 7. Фрагмент трехмерной модели. Несоответствие размеров привязки элементов (металлических стоек и фундаментов для них) к координационной оси "А"

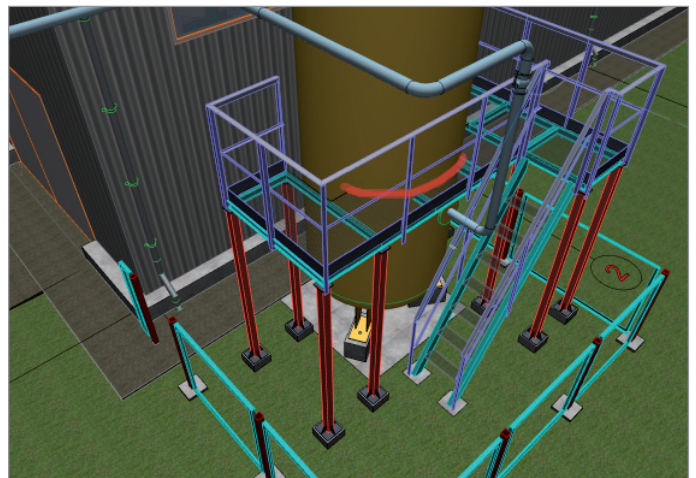


Рис. 8. Фрагмент трехмерной модели. Моделирование ситуации воплощения чертежей с указанием неверной привязки фундаментов к координационной оси "А"

затрат, связанных с устранением этих несоответствий на стройке.

Если бы строители выполнили фундаменты с неверной привязкой, указанной в чертежах КЖ, а затем смонтировали стойки площадки и саму площадку обслуживания, емкость не установилась бы в проектное положение (рис. 8). Пришлось бы что-то оперативно придумывать и искать решение на стройке. Благодаря информационному моделированию проблему удалось решить в офисе, сэкономив время и финансы.

Пример № 3

Воздуховоды, трехмерно отстроенные по чертежам марки ОВ, выявили множество ошибок в разделе ОВ: расположение воздуховодов выполнено без учета

металлических строительных конструкций (рис. 9), имеется несоответствие размеров запроектированного воздуховода и заданного отверстия под него — например, для прямоугольного короба шириной 1200 и высотой 400 мм было задано отверстие диаметром 1000 мм (рис. 10). Обнаружилось несоответствие отметок различных систем вентиляции между собой. Кроме того, смонтированные воздуховоды мешали бы проходу персонала.

Если бы конструктор выполнил металлическое обрамление проема по такому заданию и на стройке воплотили бы чертежи КМ, то монтажники, пришедшие вешать воздуховоды, столкнулись бы с большими проблемами: в отверстие шириной 1 метр проект требовал поме-

стить воздуховод шириной 1,2 метра, к тому же в чертежах ОВ был начерчен воздуховод не 1200, а 1050 мм. При ширине 1200 мм монтажу воздуховода мешает железобетонная колонна (рис. 11). Конечно, российские строители — очень смекалистые товарищи и могут решать многие проблемы на месте, исправляя ошибки проектировщиков, но в таком случае сроки строительства увеличиваются и расходы на стройку возрастают. Грамотная рабочая документация — одно из важнейших условий своевременного ввода объекта в эксплуатацию. А залог грамотной документации — согласованность работы всех участников проектного процесса. С помощью BIMx удалось выявить проблемное место: опуск воздуховода препятствовал движению об-



Рис. 9. Фрагмент трехмерной модели с инженерными сетями, выявляющий несогласованность положения воздуховодов и строительных конструкций

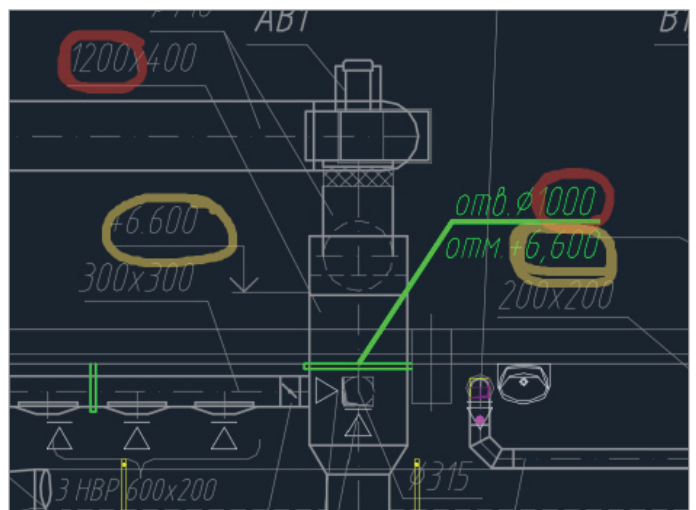


Рис. 10. Фрагмент задания на отверстия

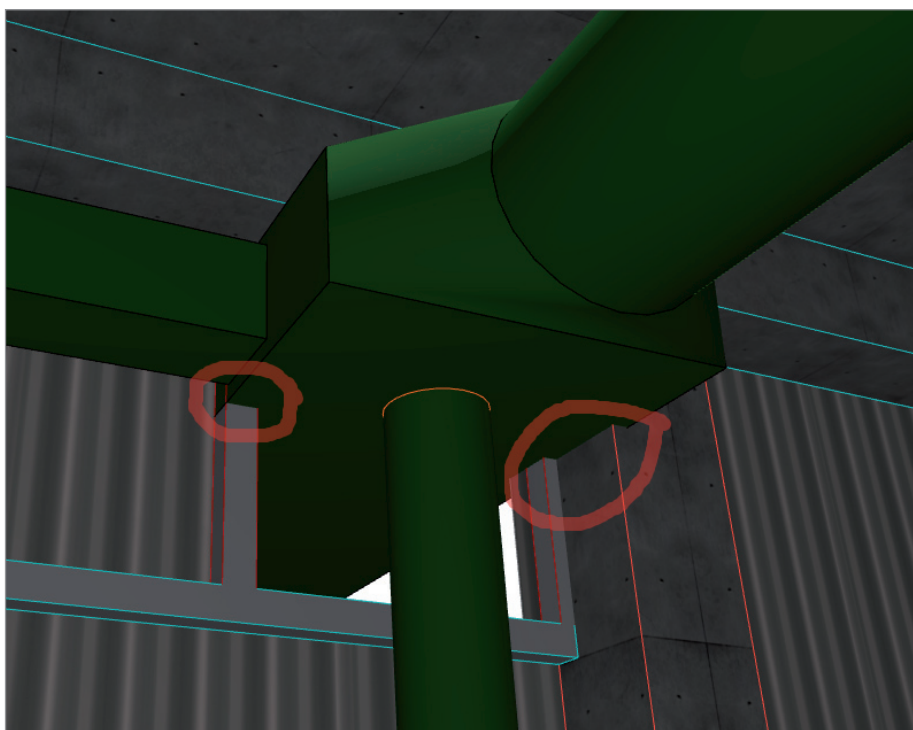


Рис. 11. Проблемы, которые могли возникнуть при монтаже воздуховода в проектное положение



Рис. 12. Выявленная проблема перемещения персонала



Рис. 13. Решение проблемы перемещения персонала

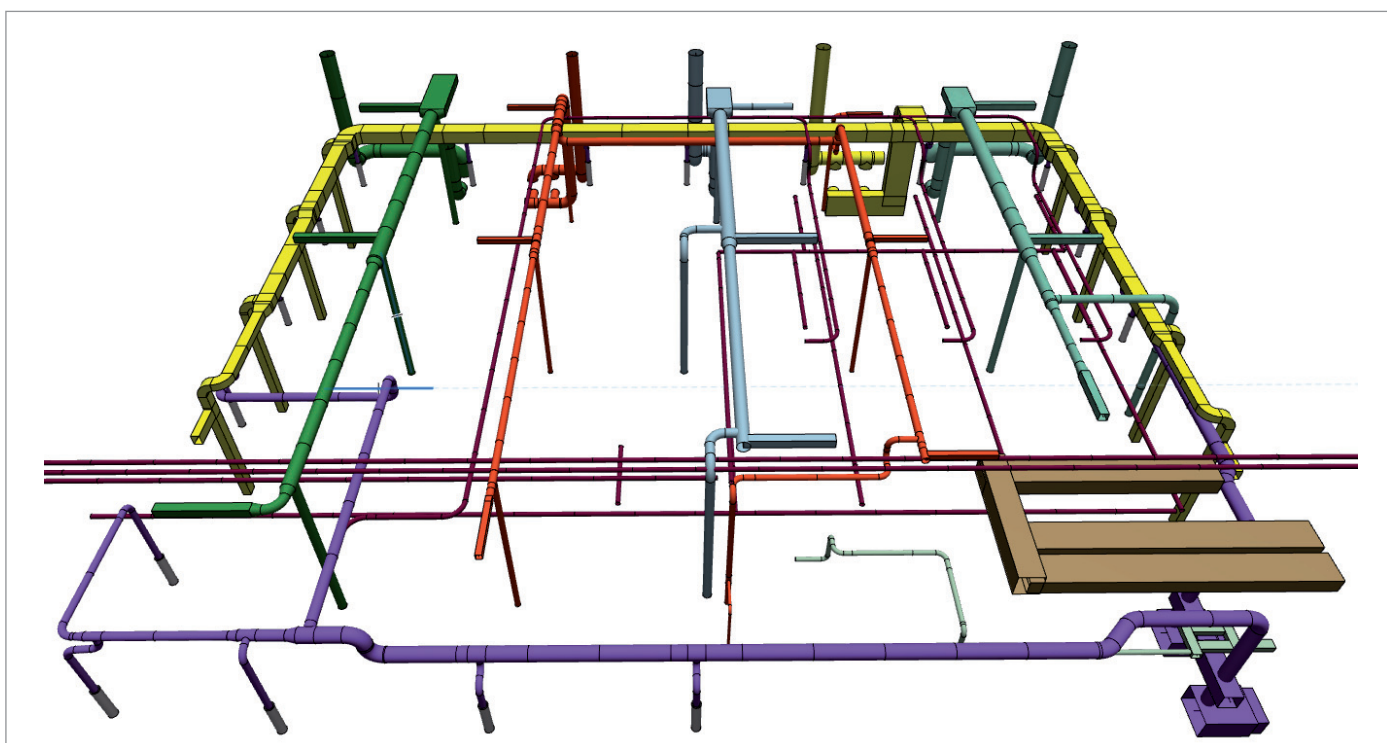


Рис. 14. Вентиляционные системы, построенные инструментами Archicad

служивающего персонала по площадке (рис. 12). Оптимизировав трассу воздуховода (повернув отвод от магистрали в сторону и убрав "лишний" поворотный элемент), помеху для передвижения персонала устранили (рис. 13).

Все ошибки и коллизии, обнаруженные при трехмерном воплощении инженерных коммуникаций, удалось устранить на этапе проектирования. Архитектором была проделана трудоемкая работа (рис. 14), потребовавшая

много времени, но результатом этих трудов стало отсутствие вопросов и замечаний со стройки при монтаже инженерных сетей.

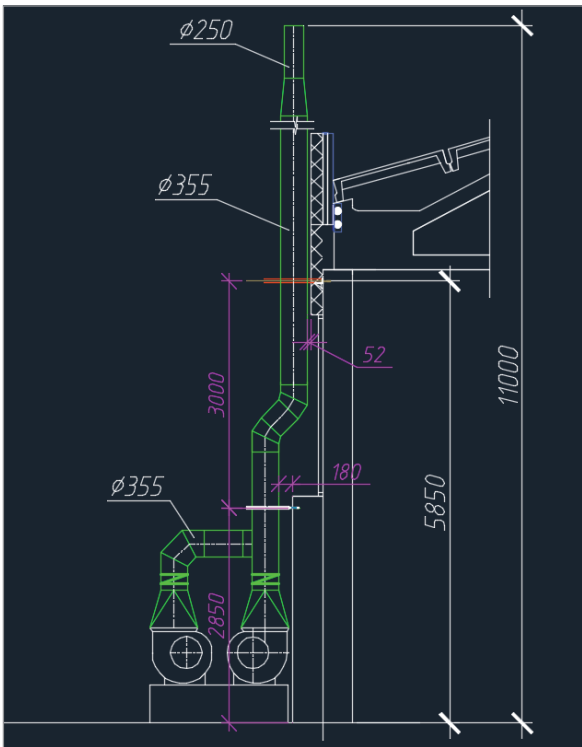


Рис. 15. Задание на крепление воздуховода к стене здания

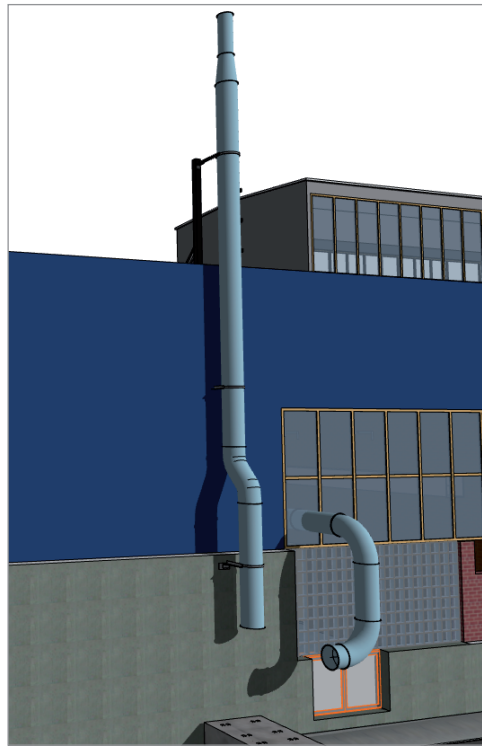


Рис. 16. Фрагмент трехмерной модели здания, отражающий полную высоту воздуховода и дополнительное крепление

Пример № 4

По заданию специалиста ОВ конструктору необходимо было разработать крепление воздуховодов на фасаде здания. Поскольку в задании верхушка воздуховода обрезана, конструктор не обратил внимания на реальное превышение отметок воздуховода над парапетом здания (рис. 15).

После того как архитектор выстроил воздуховод трехмерно, выяснилось, что выше парапета значительная часть не будет закреплена. Пришлось разрабатывать дополнительные крепления воздуховодов (рис. 16).

Пример № 5

Строители, воплощавшие один из наших проектов, железобетонный резервуар, озвучили заказчику претензию, что в документации КЖ неверно указана арматура. По их подсчетам, суммарный вес арматуры должен быть в полтора раза больше, чем заложено в чертежах. Трудность подсчета арматуры заключалась в сложной форме резервуара: скошенные ребра, внутренние стенки (рис. 17). Выстроенная архитектором по чертежам и спецификациям КЖ модель резервуара с полным армированием (рис. 18) показала, что в КЖ была ошибка в количе-

стве и диаметре отдельных позиций, но данные строителей оказались очень завышенными. В результате спецификации были откорректированы, а заказчик выявил "хитрость" строителей. Конечно, программа Archicad не предназначена для выполнения конструкторской работы, проектирования армирования, составления спецификаций арматурных стержней и изделий, но данный пример показывает, что смоделировать армирование и проверить количество арматуры – задача, вполне решаемая средствами этого приложения.

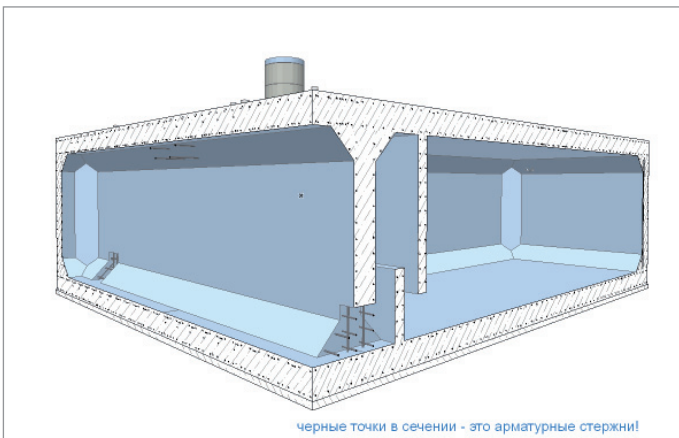


Рис. 17. Трехмерный разрез модели резервуара с армированием всех конструкций

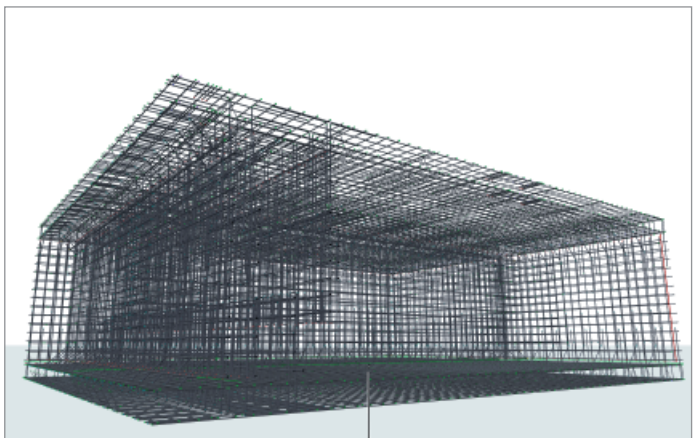


Рис. 18. Трехмерный разрез модели резервуара с армированием всех конструкций (бетон скрыт в слоях)

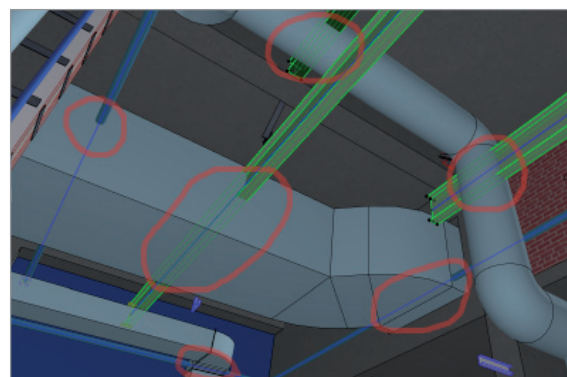


Рис. 20. Множество пересечений инженерных сетей между собой и со строительными конструкциями

Рис. 19. Трехмерный разрез модели промышленного здания, отражающий сложную объемно-планировочную структуру

Пример № 6

Когда в Archicad в формате IFC были загружены технологические трубопроводы, а после этого построены некоторые инженерные сети (ОВ, ВК), стало понятно – даже без проверки на коллизии, чисто визуально, – что разработчики инженерных сетей не учли многие несущие строительные конструкции: железобетонные балки здания, двутавровые балки площадок обслуживания, пути грузоподъемного оборудования. Само по себе здание оказалось непростым по объемно-планировочным решениям (рис. 19), и без трехмерной модели АР ошибиться в трассировке сетей было немудрено. Но такого количества коллизий мы всё же не ожидали (рис. 20).

Некоторые исполнители умудрились врезаться в свои же собственные сети. Например, трубы горячего водоснабжения пересекались со стояками канализации, хотя выполнял их один и тот же человек. При помощи трехмерной модели была проделана огромная, занявшая полгода работа по согласованию между различными специалистами. Архитектор выступал в роли координатора и контролировал исправления, своевременно меняя модель. Ошибки были устранены на этапе проектирования.

Пример № 7

Требовалось подготовить рабочую документацию реконструкции площадки обслуживания; при этом часть площадки предполагалось демонтировать, заменив

ее новыми элементами. В качестве исходных материалов заказчик предоставил технологические и монтажные чертежи, архивные чертежи КМ и несколько фотографий (совершенно неинформативных и больше похожих на абстрактные композиции русских модернистов – рис. 21). Все это не отражало полную картину, при анализе информации вопросов возникло больше чем ответов. Чертежи не соответствовали фотографиям. Согласно заданию, стойки новых площадок должны были опираться на балки существующих, а местоположение этих балок по факту не совпадало с указанным в чертежах КМ.

Впору было применить лазерное сканирование, но временные рамки договора и ограниченный бюджет не позволяли этого сделать. Пришлось ехать на место, выполнять необходимые замеры, производить фотофиксацию и выстраивать в Archicad трехмерную модель. Очень помогли Фильтры Реконструкции. С помощью этой функции можно было наглядно видеть существующее состояние объекта (рис. 22), выделить демонтируемые и отобразить новые элементы (рис. 23–24), оценить всю картину после воплощения проекта (рис. 25).

Модель в формате IFC была передана конструктору, который в минимальные сроки и с учетом существующей ситуации разработал необходимые решения КМ. При воплощении проекта у строителей не возникло ни одного вопроса. Все существующие конструкции и трубопроводы были учтены в чертежах. Заказчик отметил высокую эффективность такого подхода к проектированию.



Рис. 21. Фотография объекта реконструкции, предоставленная заказчиком

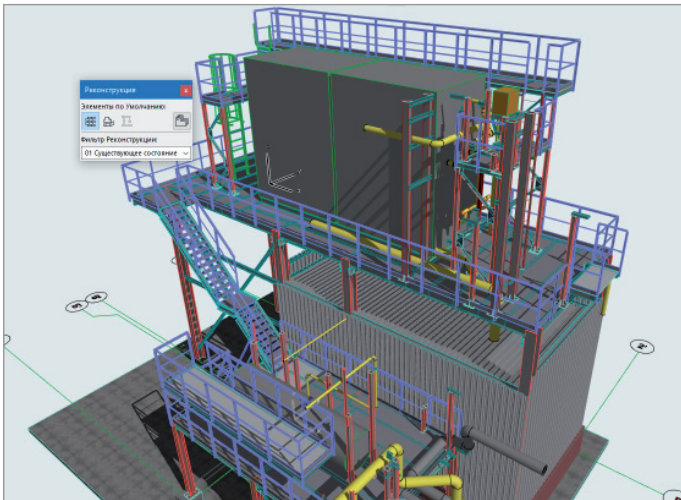


Рис. 22. Трехмерная модель объекта, отображаемая со статусом реконструкции "Существующее состояние"

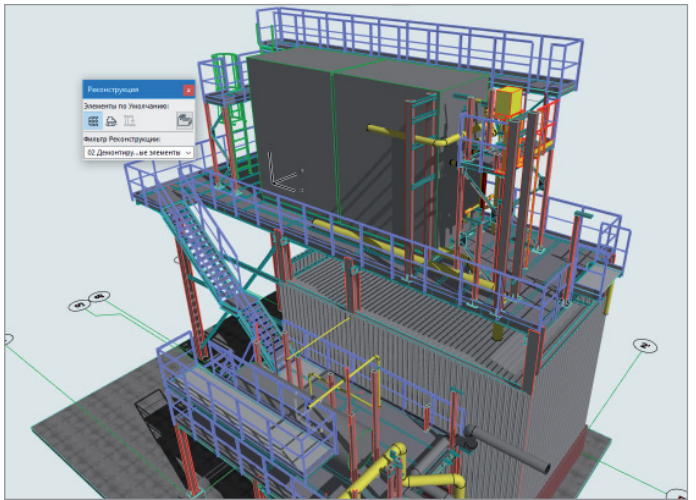


Рис. 23. Трехмерная модель объекта, отображаемая со статусом реконструкции "Демонтируемые элементы"

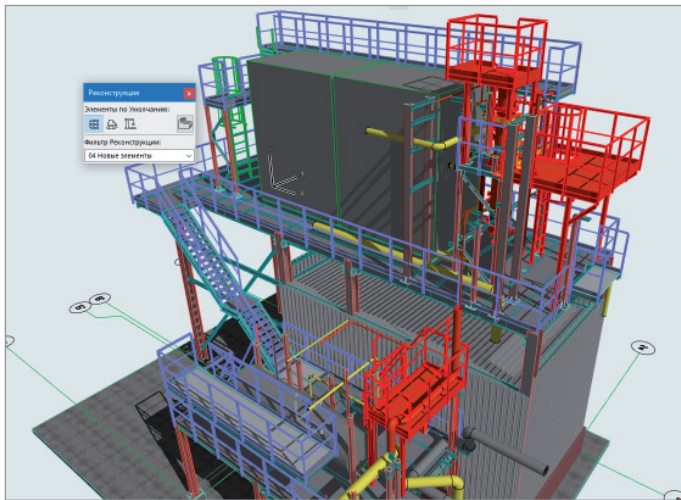


Рис. 24. Трехмерная модель объекта, отображаемая со статусом реконструкции "Новые элементы"

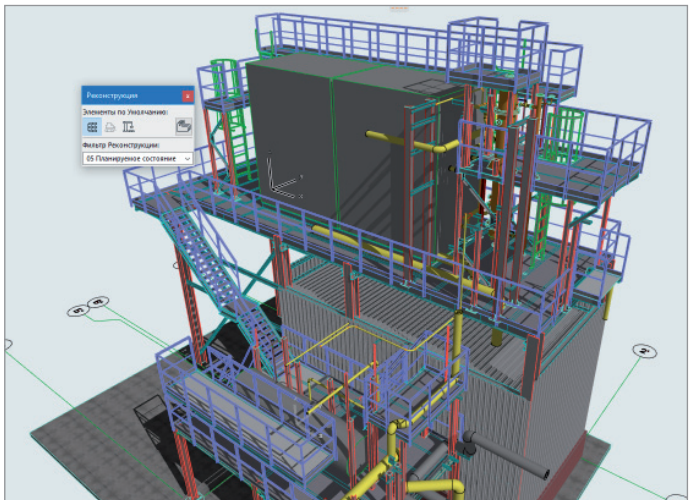


Рис. 25. Трехмерная модель объекта, отображаемая со статусом реконструкции "Планируемое состояние"

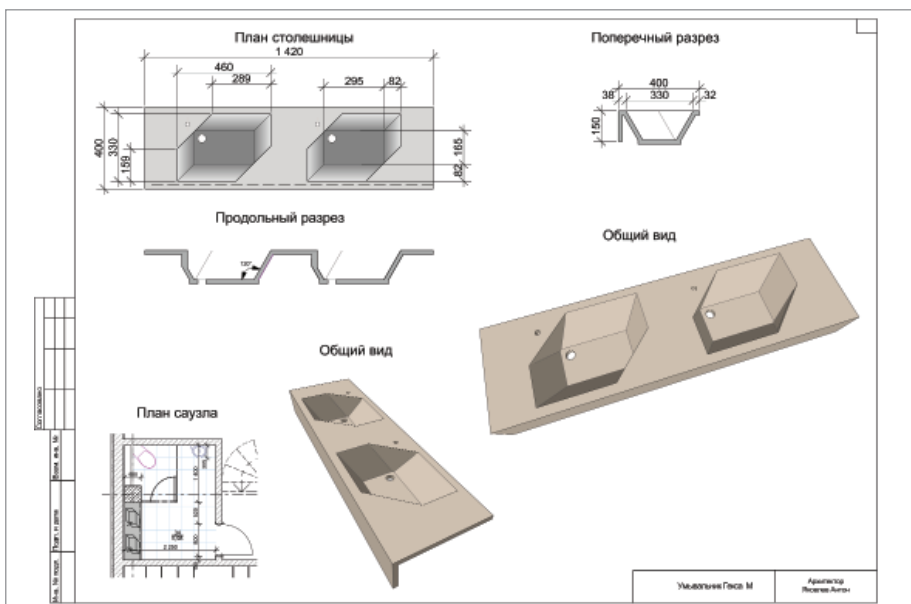


Рис. 26. Чертеж мойки, подготовленный для изготовления

Пример № 8

Проектирование нестандартной мебели. Задаaniem на проектирование ставилась цель вписать столешницу с двумя умывальниками в нишу глубиной 40 см. Имевшиеся у производителя "матрицы" стандартных овальных и круглых моек не позволяли разместить две мойки в заданном пространстве (1,42x0,4 м); возникали и другие трудности: или глубина столешницы превышала 40 см, или мойки занимали значительную часть ее поверхности (что было непропорциональным и не обеспечивало определенную жесткость конструкции). Мойки оказывались или недостаточно глубокими (возникало неудобство в эксплуатации – брызги), или же слишком маленькими, и площадь столешницы доминировала, а размеры маленьких моек не позволяли комфортно эксплуатировать изделие.

Решить все проблемы позволила форма мойки в виде вытянутого по диагонали шестигранника. Что немаловажно, выбранная форма оказалась очень технологичной, поскольку не включала в себя криволинейные поверхности. Благодаря использованию наклонных и вертикальных граней мойки была достигнута заданная глубина, минимизирующая разбрызгивание воды, — при сохранении таких геометрических размеров, которые позволяли удобно использовать изделие и гармонично организовать поверхность столешницы. Дно мойки сделано простой прямоугольной формы, а значит благодаря меньшему количеству граней легко производить работы по уборке. С помощью стандартных инструментов Archicad (Стены, Перекрытия, Крыши) выполнена трехмерная модель мойки и созданы необходимые для изготовления чертежи (рис. 26). Изделие изготовлено с применением технологии "Жидкий камень". Результат отвечает всем требованиям задания на проектирование: вписанная в нишу определенных размеров столешница с двумя интегрированными мойками, предполагающая удобное использование и обслуживание, а также имеющая нестандартный внешний вид (рис. 27).



Рис. 27. Умывальник, смонтированный в проектное положение

Пример № 9

В программе Archicad легко создавать собственные библиотечные элементы. Чтобы сформировать полноценный библиотечный элемент, необходимо знание языка GDL. Но для создания трехмерного объекта, не требующего каких-либо параметрических изменений, кроме геометрических размеров, особых знаний не понадобится.

В одном из проектов стояла задача — на трехмерных изображениях в определенных местах должны быть видны знаки противопожарной безопасности, соответствующие требованиям ГОСТ. Первоначально пытались реализовать такую задачу с помощью графических редакторов, но при изменении ракурса каждый раз требовалось корректировать пропорции картинки с табличкой. На определенном этапе разработки заказчик выдвинул новое требование: одним из элементов конечного продукта должен быть видеоролик — экскурсия по помещениям объекта с обязательной демонстрацией противопожарных табличек, размещенных в нужных местах. Графические редакторы отпали, начались мучения с текстурами, которые накладывались на простые геометрические фигуры, но при таком методе тоже были определенные сложности с подгонкой изображений. Все эти проблемы устранились при создании табличек с помощью инструментария Archicad. Перекрытиями были "обведены" изображения ГОСТовских табличек, создан целый каталог библиотечных элементов (рис. 28). Также для этого проекта был сформирован библиотечный элемент "Щит пожарный" с возможностью выбора оборудования, отображаемого в 3D-окне (рис. 29). При создании такого объекта хватило школьных знаний предмета "Информатика" и пары часов чтения справочника GDL.

Заключение

Примеры, приведенные выше, показывают, что с помощью Archicad можно решать самые разнообразные задачи — как проектные, так и не связанные с архитектурным проектированием в чистом виде. Все зависит от фантазии и смекалки пользователей. Ну и, конечно же, от знания существующих возможностей! Если в Archicad вы не можете решить какую-либо поставленную перед архитектором задачу, то вполне вероятно, что вы еще недостаточно изучили программу.



Антон Яковлев,
начальник

архитектурно-строительного отдела
ООО ПСК "ХимПромПроект"

Об авторе

Антон Яковлев в 2005 году окончил Ярославский государственный технический университет по специальности «Архитектура». Последние 10 лет трудится в компании, осуществляющей полный цикл проектирования промышленных объектов. В своей работе успешно использует Archicad для решения практических задач на различных этапах работы над проектом (концептуальное проектирование, выполнение проектной и рабочей документации, обеспечение соответствия различных частей проекта друг другу, подготовка презентационных материалов). В 2018 году получил сертификат GRAPHISOFT.

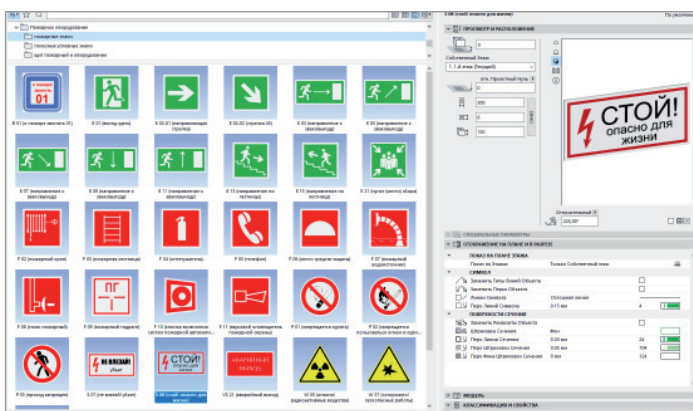


Рис. 28. Библиотечные элементы противопожарной тематики

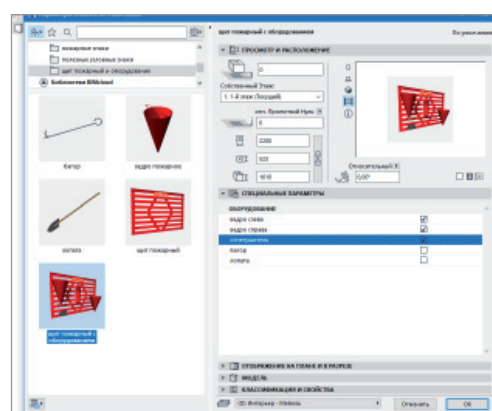


Рис. 29. Библиотечный элемент с возможностью выбора отображаемого оборудования

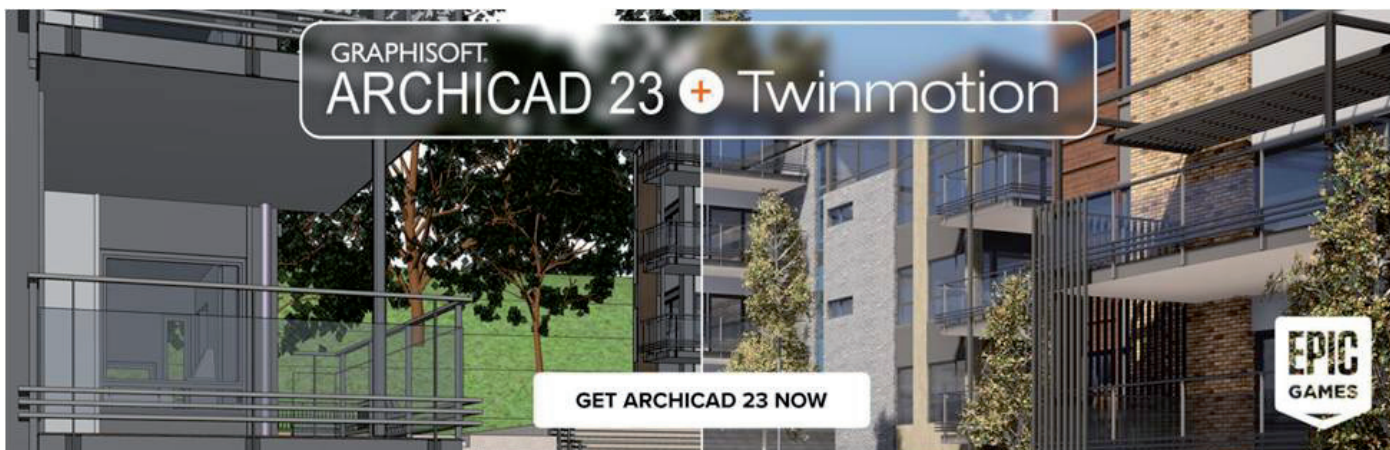


➤ ARCHICAD 23 + TWINMOTION: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

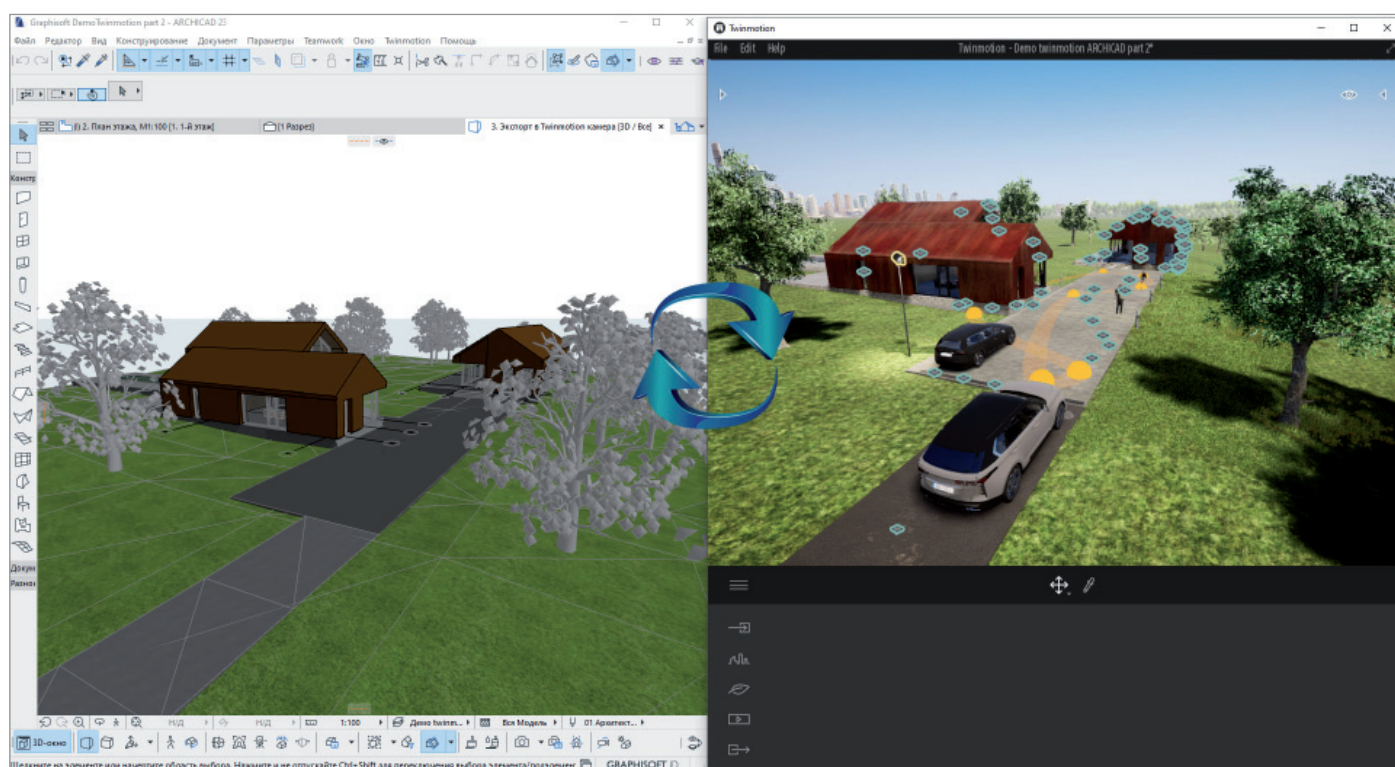
5 июня 2019 года компания GRAPHISOFT®, создатель ведущего приложения для архитектурного проектирования Archicad, и Epic Games, разработчик игрового движка Unreal Engine, объявили о начале сотрудничества, целью которого является предо-

ставление пользователям Archicad 23 бесплатного доступа к новым функциям инструмента Twinmotion, недавно приобретенного компанией Epic Games. Я решила рассказать о возможностях, которые появились у пользователей Archicad с приходом Twinmotion.

Оставив на время в стороне основные новшества 23-й версии Archicad, которая вышла летом 2019 года, сосредоточим внимание на приятном бонусе, который получают пользователи этой версии. Все владельцы лицензий Archicad 23, продлившие контракт или



Презентация продукта



Синхронизация проекта из Archicad с Twinmotion при помощи плагина Twinmotion Direct Link

только заключившие его, смогут получить соответствующее количество полнофункциональных лицензий расширенной версии Twinmotion Eric Games. Тесное сотрудничество двух разработчиков гарантирует полноценное взаимодействие Archicad и решений Eric Games. Предложение вступило в силу с момента первого выпуска обновленного программного обеспечения Twinmotion (16 марта 2020 года) и будет действовать до завершения поставок Archicad 23.

Еще до выпуска Twinmotion 2020 все желающие могли бесплатно ознакомиться с функциями этого инструмента, посетив сайт unrealengine.com/twinmotion.

Что же такое Twinmotion и зачем он нужен пользователям Archicad?

Twinmotion – это программный пакет, основанный на движке Unreal Engine 4 и предназначенный для рендеринга в режиме реального времени.

Сегодня все более популярным становится подход, основанный на динамической связи программ моделирования/проектирования и визуализации. Именно такая связь реализована между программами Twinmotion и Archicad, что позволяет в несколько раз ускорить выполнение работ.

Раньше, работая с моделью Archicad, мы экспортировали информацию в форма-

ты программ рендеринга. Далее выполнялась визуализация проекта, но если в модели Archicad что-то менялось, весь процесс приходилось начинать заново: снова экспорт, наложение текстур, выставление объектов и так далее. Естественно, все это требовало времени.

Ситуацию изменили Twinmotion и плагин Direct Link для Archicad. Когда в модели Archicad, скажем, появились другие покрытия или выбрана иная форма элементов, эти изменения мгновенно синхронизируются в Twinmotion. Следовательно, больше нет необходимости по несколько раз настраивать сцену – достаточно сделать это однократно. Кроме того, высокодетализированные рендеры можно получать на любом этапе проекта, а не только на финальном.

Вот в чем принципиальное отличие иммерсивной визуализации Twinmotion от обычного подхода.

Каковы возможности Twinmotion?

Twinmotion обладает интуитивно понятным интерфейсом, что делает его чрезвычайно простым в изучении и использовании. В программу включена достаточно обширная библиотека статичных объектов, материалов, а также элементов, позволяющих вдохнуть жизнь в созданную сцену (источники освещения, люди, транспорт, растения, звуки). Элементы библиотеки легко добавляются

в сцену простым перетаскиванием.

Пользователю предоставлена возможность менять покрытие элементов сцены, варьировать сезон и погоду, устанавливать нужное время суток, формировать ландшафт, добавлять анимацию персонажам, животным и растениям, распределять по сцене искусственное освещение и звуки окружающей среды. Одной из интересных возможностей программы является настройка локации проекта. Настроив север проекта и загрузив контекст из OpenStreetMap, пользователь сможет максимально реалистично вписать свой проект в существующую инфраструктуру/застройку. Из одной сцены Twinmotion можно настроить несколько камер с различными видами – как экстерьер проекта, так и различные варианты интерьера. Полученным результатом могут быть статичные изображения, видео и панорамы 360°.

Пользователя Twinmotion удивит скорость получения высококачественных изображений, панорам и видео: речь идет о считанных секундах. В то же время программа позволяет выбрать камеры, рендеры которых необходимо получить на данный момент. Одновременно можно активировать публикацию нескольких изображений, видео и панорам, что очень удобно и экономит время пользователя.



Что нового в Twinmotion 2020?

Разработчики игрового движка Unreal Engine 4, на основе которого был создан Twinmotion, действительно постарались при подготовке новой версии. Новые мощные функции не только обогатили интерактивные возможности Twinmotion 2020, но и повысили общую производительность.

Чтобы подробнее узнать о возможностях решения Twinmotion для пользователей Archicad 23, посмотрите видеозапись мировой премьеры Archicad 23:

www.graphisoft.com/archicad.

Скачать Twinmotion:



Скачать Archicad 23:



Виталина Балашенко,
 технический специалист
 по направлению GRAPHISOFT
 АО "Нанософт"
 Тел.: (495) 645-8626
 E-mail: vitalina@nanocad.ru

Рендеринг проекта в Twinmotion 2019.
 Комплекс зданий Nordre Jarlsberg Brygge, Норвегия |
 RIFT Architects | www.rift.no



➤ ЗНАКОМЬТЕСЬ: ТАБЛИЦЫ СПДС

В этой статье мы рассмотрим функционал табличного редактора СПДС, реализованный в программных продуктах СПДС GraphiCS на графической платформе AutoCAD и nanoCAD СПДС на графической платформе nanoCAD Plus. Для удобства в дальнейшем под проектом СПДС будем подразумевать оба этих программных продукта.

На чертежах в проектно-конструкторской документации обязательно присутствуют различные ведомости, экспликации, спецификации, сводные отчеты, которые структурно представляют собой таблицы. Чаще всего такие таблицы вставляются средствами графической платформы и заполняются вручную, иногда импортируются из Excel, а еще реже формируются авто-

матически на основании данных чертежа или модели.

В любом из этих случаев табличный редактор СПДС существенно расширяет возможности графической платформы.

Готовая база таблиц проекта СПДС (рис. 1) может быть хорошим подспорьем в начале работы, предоставляя более 30 шаблонов таблиц с настроенными

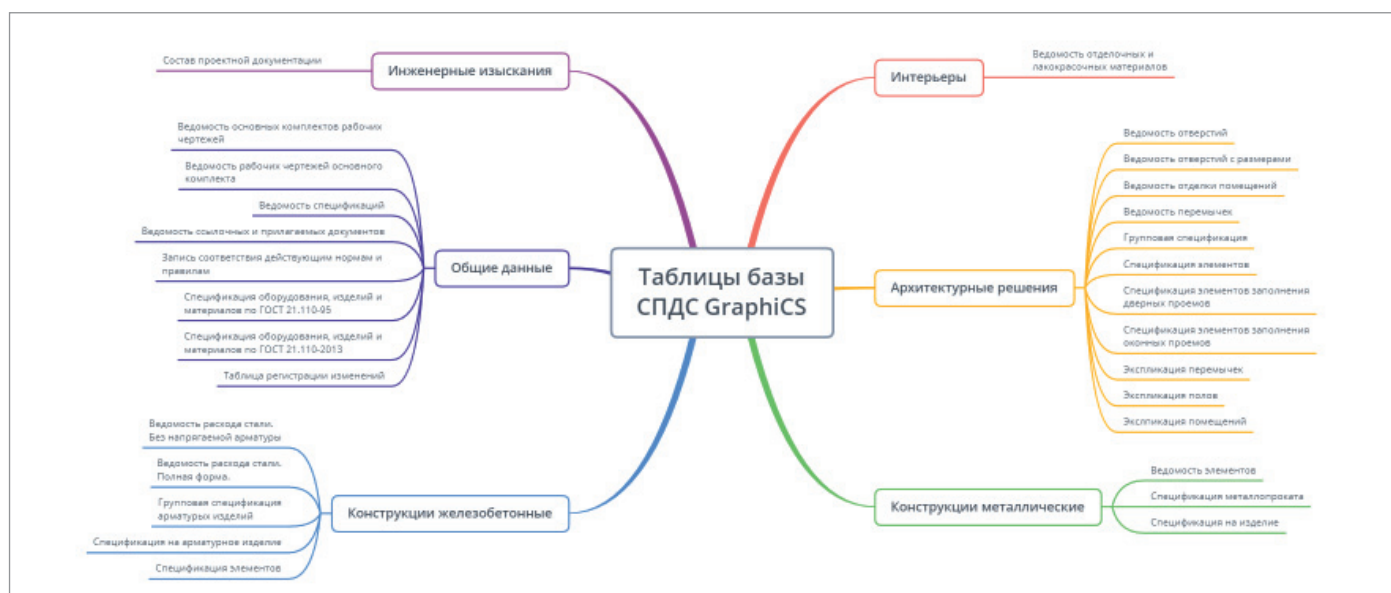


Рис. 1. Таблицы СПДС GraphiCS

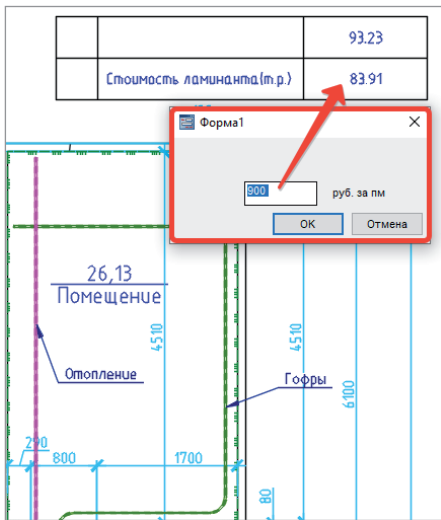


Рис. 2. Пример использования формы таблицы

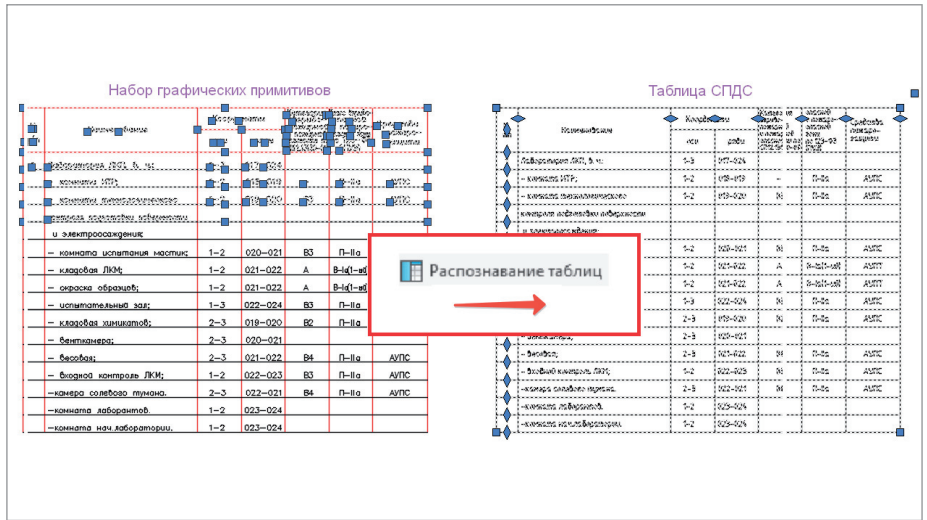


Рис. 3. Распознавание таблиц

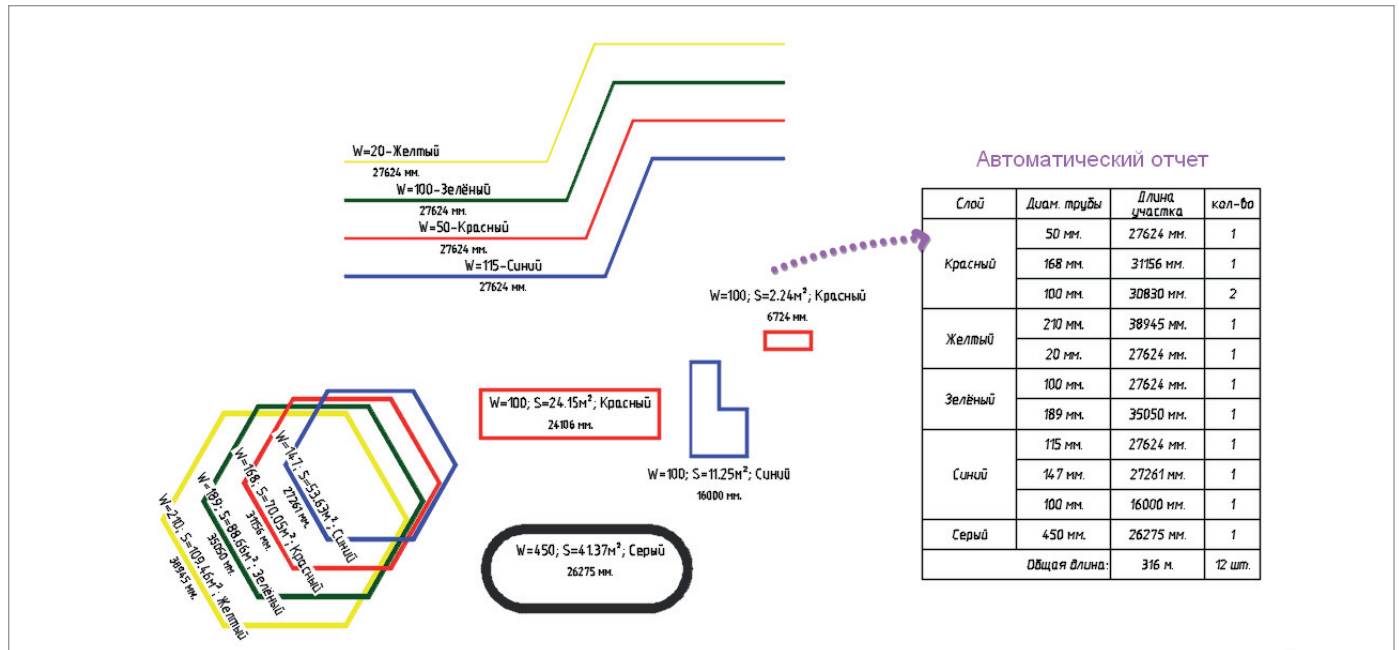


Рис. 4. Автоматический отчет в таблицах СПДС

столбцами, строками и шапкой по ГОСТ 21.1101-2013.

Имеющиеся шаблоны можно редактировать. Например, заполнить таблицу часто используемой информацией и в таком виде сохранить в базу или добавить ввод через форму параметров (например, ценовых), от которых будет зависеть расчет в таблице (рис. 2).

При наличии большого количества старых чертежей, где таблицы были созданы набором примитивов (текст и линии), можно воспользоваться инструментом *Распознавание таблиц*. Одним щелчком кнопки мыши вы можете превратить набор примитивов в таблицу (рис. 3), кото-

рую удобно редактировать, перемещать по чертежу, осуществлять в ней арифметические и логические действия.

Это всё пока приятные мелочи, основной же "конек" таблиц СПДС – способность извлекать данные из объектов чертежа. Не извлекать и размещать длинным полотном всё подряд, а предварительно сгруппировать или объединить в необходимом порядке или произвести с ними дополнительные действия (рис. 4).

В автоматических таблицах СПДС настраиваются:

- размеры строк, столбцов, высоты текста, заданный стиль текста;

- нужные цвет, толщина линий таблицы и текста;
- объединение или группировка требуемых позиций;
- специальные символы (при необходимости).

При этом все данные обновляются, а с внесением изменений на чертеже связанные значения в других ячейках или таблицах также автоматически пересчитываются.

Настроить такую автоматическую таблицу может каждый. Процедура настройки выполняется один раз, ее результаты сохраняются, могут передаваться другим пользователям и, конечно же, много-

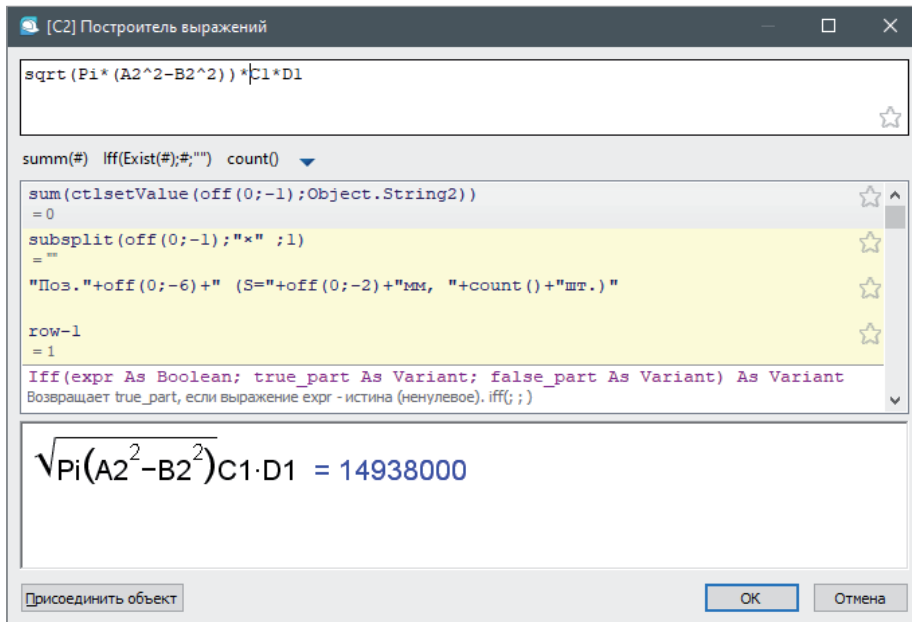


Рис. 5. Построитель выражения в таблице

кратно применяться путем вставки в чертеж из базы. При настройке вычислений и преобразований в таблице *Построитель выражений* отобразятся вводимая формула в математическом виде, а также результат вычисления (рис. 5).

Новейшие разработки в табличном редакторе СПДС позволяют при сборе информации с чертежа выполнять разбор строки. Например, на чертеже будут обозначены выносками параметры пластин (рис. 6). Эти данные требуется собрать в таблицу, сортируя по каждому

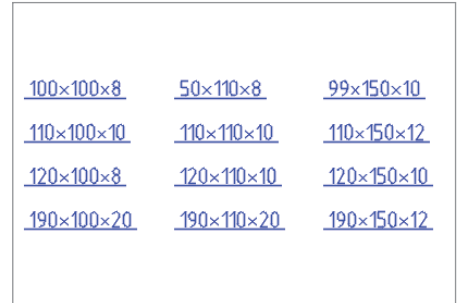


Рис. 6. Пример использования параметров

параметру и рассчитывая объем (рис. 7). Высший пилотаж – умение управлять данными чертежа из таблицы. И таблицы СПДС это умеют!

В примере, приведенном на рис. 6, с помощью табличного редактора СПДС можно заполнить атрибутивную информацию в выносках – например, вычисляемую вторую строку позиционных выносок (рис. 8).

Пошаговые обучающие инструкции по различным решениям с помощью табличного редактора можно найти в разделе "Примеры" блога проекта СПДС blog.spds.ru, где представлены:

- перенумерация блоков AutoCAD в чертеже;
- пример управления отображением шапки таблицы;
- универсальный маркер, транслирующий данные полилинии;
- получение значения из другой таблицы СПДС в одном чертеже;
- подсчет блоков.

Надеемся, приведенная в этой небольшой статье информация вызвала у вас интерес и желание побольше узнать об особенностях работы с таблицами СПДС. Со всеми возникшими вопросами обращайтесь к нам: мы всегда готовы ответить на них.

Светлана Капарова,
руководитель проекта СПДС
E-mail: kaparova@csdev.ru

Поз.	Обозначение	Первый размер	Второй размер	Третий размер	"Объем"
A	B	C	D	E	F
1	50×110×8	50	110	8	44000
2	99×150×10	99	150	10	148500
3	100×100×8	100	100	8	80000
4	110×100×10	110	100	10	110000
5	110×110×10	110	110	10	121000
6	110×150×12	110	150	12	198000
7	120×100×8	120	100	8	96000
8	120×110×10	120	110	10	132000
9	120×150×10	120	150	10	180000
10	190×100×20	190	100	20	380000
11	190×110×20	190	110	20	418000
12	190×150×12	190	150	12	342000

Рис. 7. Сформированная таблица

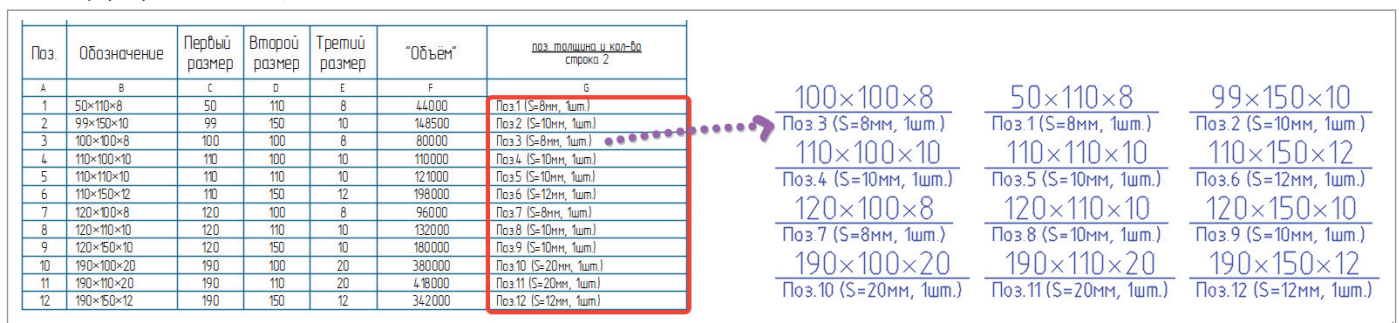


Рис. 8. Управление объектами чертежа из таблицы



➤ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ

Теплоснабжением зданий в нашей стране занимаются с 40-х годов XX века. И тогда, и в последующие советские годы оно было централизованным, а в качестве источника теплоты использовались ТЭЦ и котельные установки. Но с начала 90-х стал применяться зарубежный опыт децентрализованного теплоснабжения с автономными источниками тепла (АИТ) вместо котельных. Автор считает именно это направление приоритетным для развития отрасли. К такому выводу его привел 50-летний опыт работы в области проектирования и строительства, десятки построенных его командой зданий и расчеты, сделанные в ходе их проектирования и последующей эксплуатации.

В первые послевоенные годы на территории СССР активное развитие получила электроэнергетика. Анализируя процессы выработки электрической энергии, инженеры и ученые пришли к вы-

воду, что большое количество сбросного тепла из градирен тепловых электростанций (ТЭЦ) остается незадействованным. Невостребованные тепловые мощности решено было направить на нужды теплоснабжения зданий. Так сформировалась комбинированная выработка тепловой энергии, при которой она производится на одном предприятии с электрической. Вся потенциальная энергия топлива тратится на выработку электрической энергии – 35-45%, а остальные 55-65% – бросовое тепло, которое можно использовать для подогрева воды. В стоимости этого тепла топливная составляющая отсутствует.

Постепенно централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепловой электрической энергии стало для страны приоритетным. Однако режимы потребления тепла и электроэнергии не всегда совпадали по нагрузкам. Как правило, тепловая мощ-

ность тепловых электрических станций использовалась на 40%. Тем не менее, зимой этой мощности категорически не хватало для покрытия тепловых нагрузок. Решением стало строительство пиковых водогрейных котельных при ТЭЦ. Но и их мощности, как оказалось, было недостаточно даже в Москве, где построены десятки крупных РТС.

Приведу в пример Уфу. В этом городе построено много ТЭЦ, но на нужды теплоснабжения расходуется лишь 30% их мощностей. Одна из причин – пересеченный рельеф местности. Электрические мощности со сбросными тепловыми нагрузками буквально "заперты" на ТЭЦ. Чтобы транспортировать эту энергию, необходимо создавать сложную схему теплоснабжения с насосными подкачками и перекачками.

По всей стране в качестве источников тепла системы централизованного теплоснабжения стали возводить квар-



Рис. 1. Структурная схема нормативно-технических документов, регламентирующих услуги в области теплоснабжения

тальные и районные котельные. Там, где не было ТЭЦ, котельные строились при градообразующих предприятиях, которые снабжали теплом в том числе и населенные пункты. В 1990-х годах многие такие предприятия обанкротились. Содержать их стало сложно: котельные мощностью в 50, 60 или 100 МВт стали вырабатывать для населенных пунктов тепла на порядок ниже установленной мощности.

Оборудование котельных не использовалось, амортизировалось и, соответственно, морально и физически устаревало. Зимой из-за износа тепловых сетей, который на сегодняшний день составляет 40-50%, стали происходить крупные и мелкие аварии, продолжающиеся до сих пор.

Как дальше развивать теплоснабжение в стране?

С начала 1990-х годов в институте "СантехНИИпроект" изучался зарубежный опыт децентрализованного теплоснабжения с автономными источниками тепла (АИТ), интегрированными в здания. Отмечу, что до 50-х годов XX века АИТ широко использовались в Советском Союзе в виде встроенных в здания подвальных котельных на каменном угле. В 1960-х годах с развитием добычи неф-

ти и газа Н.С. Хрущев изменил топливный баланс страны, сделав ставку на жидкое топливо в качестве основного источника энергии. В подвальных котельных, не приспособленных для сжигания такого топлива, стали часто происходить аварии. Невозможность обеспечения пожарной безопасности, развитие теплофикации и центрального теплоснабжения – все это привело к законодательному запрету на использование жидкого топлива и газа в подвальных котельных жилых домов. Развитие автономного децентрализованного теплоснабжения приостановилось, работы по повышению его надежности и эффективности были свернуты.

Исследование проблем, возникающих при эксплуатации системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) на базе котельных, с учетом сложившейся экономической ситуации показало, что наиболее эффективное решение для развития теплоснабжения в нашей стране – отказ от районных и производственных котельных в пользу АИТ, интегрированных в здания (крышных, встроенных и пристроенных котельных) без тепловых сетей, а также поквартирное теплоснабжение. При этом основным видом топлива является газообразное как до-

минирующее при выработке тепловой энергии для населения. Однако коэффициент его полезного использования в нашей стране весьма низок.

На рис. 1 представлена структурная схема нормативно-технических документов, регламентирующих услуги в области теплоснабжения. В левой части – централизованное теплоснабжение, которое развивается под эгидой Министерства энергетики: комбинированная выработка тепловой и электрической энергии ТЭЦ, районные и квартальные котельные. В правой части – автономное, поквартирное теплоснабжение, которое мы стали развивать в институте "СантехНИИпроект": крышные, встроенные, пристроенные котельные и индивидуальные теплогенераторные установки. Отдельно остановлюсь на поквартирной системе теплоснабжения, которая пока наименее развита в нашей стране.

Поквартирное теплоснабжение – обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир. Система состоит из источника теплоснабжения – теплогенератора, трубопроводов горячего водоснабжения с водоразборной арматурой, трубопроводов отопления с отопительными приборами внутри квартиры.

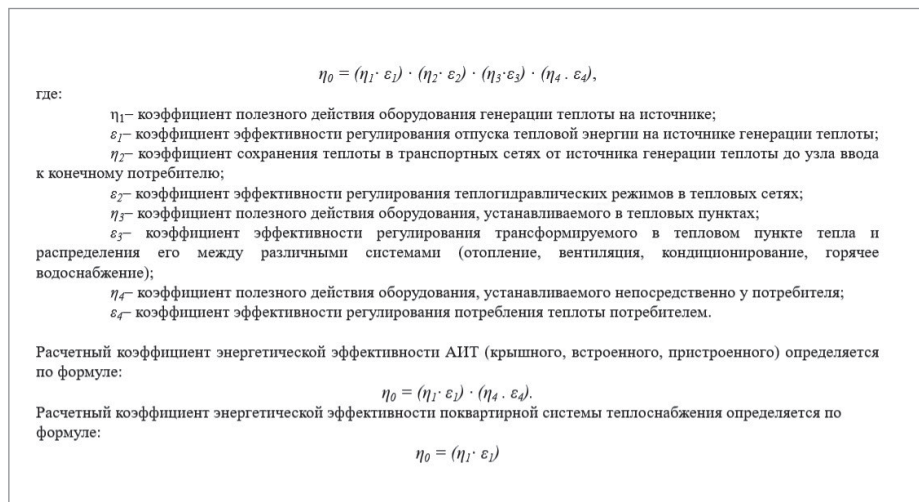


Рис. 2. Коэффициент энергетической эффективности

Когда в институте "СантехНИИпроект" мы начали изучать систему поквартирного теплоснабжения, в правовом поле отсутствовали какие-либо нормативные документы на эту тему. Наши исследования базировались только на рассмотрении зарубежного опыта, в первую очередь Западной Европы. В начале 1990-х годов там активно развивалось производство абсолютно безопасных квартирных теплогенераторов с закрытой камерой сгорания. Теплогенератор в этом случае берет поддерживающий горение воздух снаружи и туда же удаляет дымовые газы. Во внутреннем воздухообмене квартиры процессы горения не участвуют. Как и у других технологий, у системы поквартирного теплоснабжения есть

свои минусы, точнее – один главный минус, который заключается в том, что она требует принятия повышенных мер безопасности, поскольку расположена в жилых помещениях. Однако следует отметить, что гораздо большую опасность в этом смысле представляют собой газовые плиты для приготовления пищи. Учитывая риски, связанные с внедрением системы поквартирного теплоснабжения, при разработке соответствующих нормативных документов мы указываем на необходимость использования легко-сбрасываемых конструкций в виде оконных переплетов – с целью взрывозащиты зданий. Практика показывает, что применяемые в настоящее время конструкции не срабатывают, взрывы приводят к разрушению значительной части

дома. Назрела насущная необходимость провести исследования по определению причин такого положения и принять правила расчета и устройства оконных конструкций с привлечением заводов для их производства и поставки. Исключить образование взрывоопасной смеси поможет мониторинг воздушной среды в помещении, в котором установлено газоиспользуемое оборудование с быстросрабатывающим электромагнитным клапаном, способным при обнаружении протечки автоматически перекрывать подачу газа.

Таким образом, способы организации безопасного применения поквартирной системы теплоснабжения доступны и постоянно совершенствуются. Практика показывает: строгое соблюдение требований безопасности исключает риск возникновения аварийных ситуаций.

Сравнительная оценка централизованной, автономной и поквартирной систем

Сравнительную оценку систем теплоснабжения начнем с коэффициента энергетической эффективности (КЭЭ). Общий КЭЭ определяется формулой, приведенной на рис. 2. При расчете КЭЭ автономного теплоснабжения необходимо отбросить транспортные сети от источника генерации теплоты до узла ввода к конечному потребителю, оставив для расчета оборудование КЭЭ генерации теплоты на источнике и КЭЭ системы потребления. Расчетный КЭЭ для поквартирного теплоснабжения будет определяться только с учетом энергоэффективности оборудования генерации теплоты на источнике.

Даже при условии нового строительства инженерных систем КЭЭ для централизованного теплоснабжения на районных или квартальных схемах котельных не превысит 0,75. Перемножение двух показателей для автономного теплоснабжения АИТ даст примерно 0,85, а КЭЭ поквартирной системы составит 0,9-0,92. Рассмотрим сравнительную диаграмму энергетической эффективности трех систем: централизованной, автономной и поквартирной (рис. 3).

На диаграмме наглядно видно, что даже с учетом вновь возводимых инженерных систем устаревших технологий поквартирная система на сегодняшний день наиболее энергетически эффективна. Ее потери связаны только с теплом уходящих газов. Для автономной системы это также потери распределения, связанные

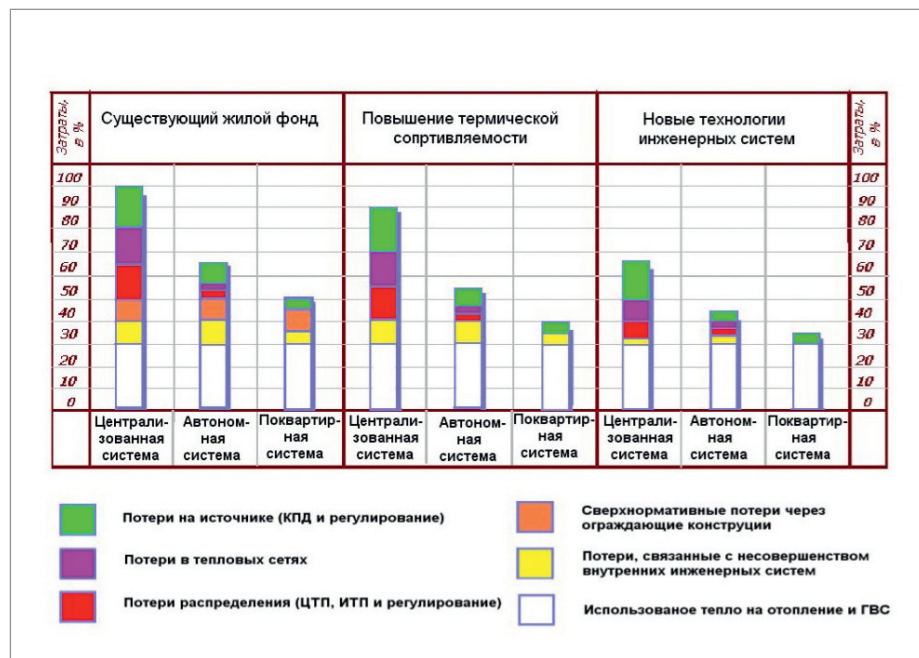


Рис. 3. Сравнительная диаграмма энергетической эффективности

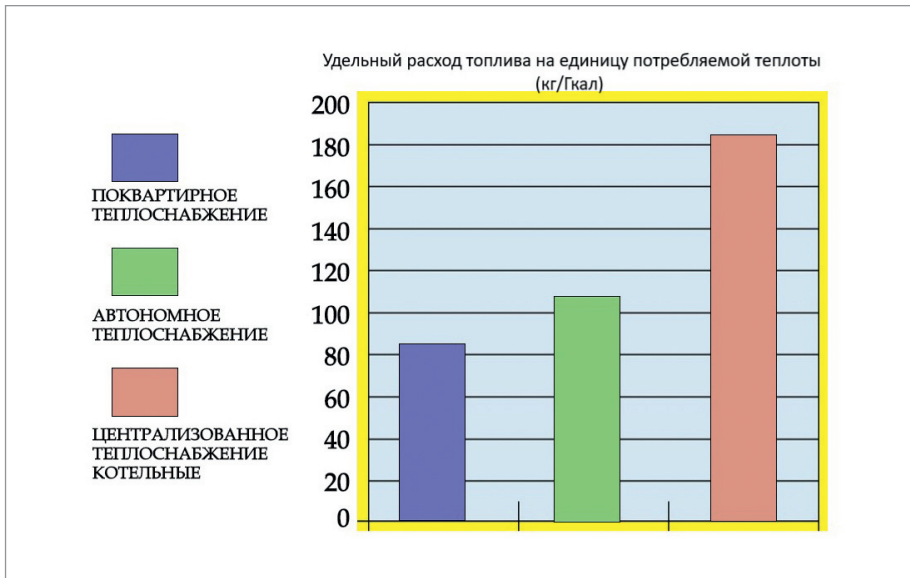


Рис. 4. Сравнительная оценка потребления топлива (газа)

с несовершенством внутридомовых инженерных систем.

Сравнительная оценка потребления топлива (газа) показывает, что удельный его расход на единицу потребляемой теплоты (кг/Гкал) для поквартирной системы теплоснабжения – наиболее низкий (рис. 4).

В городе Серпухов Московской области по нашему проекту был построен экспериментальный десятиэтажный дом с поквартирной системой теплоснабжения и вынесенными за пределы квартир счетчиками, расположенными в вентилируемых шкафах, к которым обеспечен легкий и быстрый доступ (рис. 5). В результате расходы на теплоснабжение потребителей, проживающих в этом доме, сократились в 2,5-3 раза по сравнению с теми, кто проживает в соседних домах с централизованным теплоснабжением. Это подтверждено практическим опытом массового жилого строительства в Белгороде и Республике Татарстан.

Теперь обратимся к инвестиционным затратам на модернизацию систем теплоснабжения существующего жилого фонда. Сравнительные расчеты показали, что поквартирная система теплоснабжения обходится дороже, чем централизованная и автономная (рис. 6).

В этой связи представляется интересным опыт Республики Татарстан. В 1997 году ситуация с централизованным теплоснабжением привела здесь к необходимости срочной модернизации и реконструкции тепловых пунктов, а также к изменению подхода к строительству котельных. Было принято решение все деревни, поселки городского типа и малые города перевести на базу поквартирного теплоснабжения.

Фонд газификации, энергосберегающих технологий и развития инженерных сетей РТ принял на себя бремя инвестиционной составляющей в рамках "Программы по переходу на поквартирную систему отопления, установке блочно-модульных котельных в городах и районах Республики Татарстан".



Рис. 5. Слева – дом с поквартирным теплоснабжением (г. Серпухов Московской области); справа – шкаф для размещения газовых счетчиков и отключающих устройств

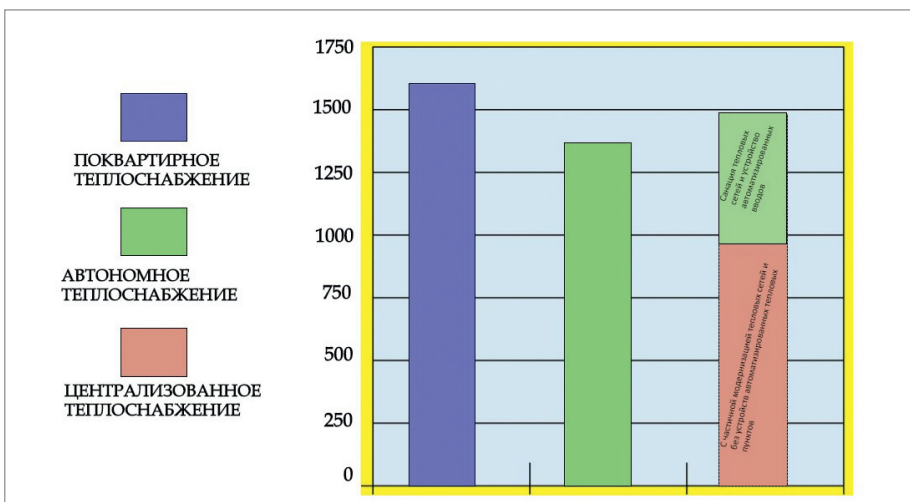


Рис. 6. Инвестиционные затраты на модернизацию систем теплоснабжения (руб./м²)

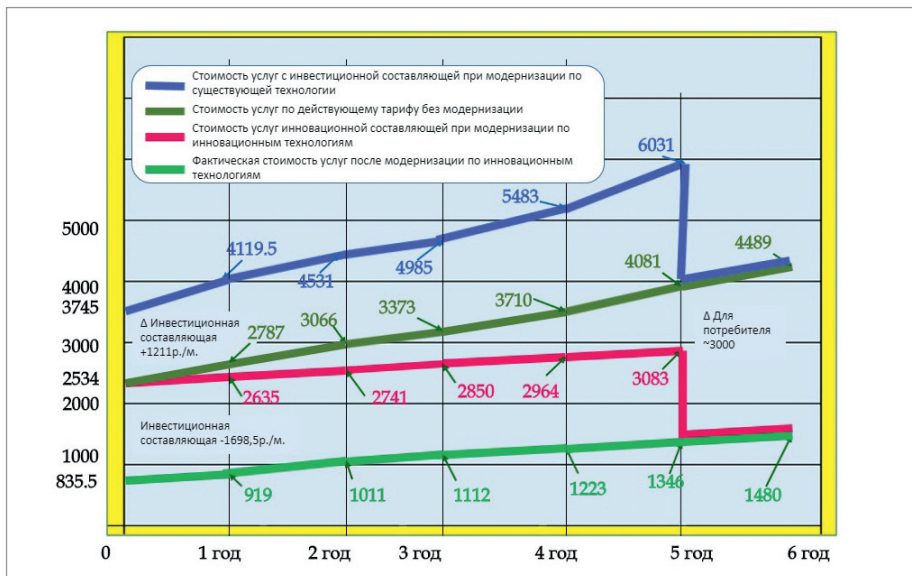


Рис. 7. Сравнительная оценка стоимости услуг отопления и ГВС (на примере двухкомнатной квартиры)



Рис. 8. Примеры домов с крышной и пристроенной котельными

На рис. 7 представлена сравнительная оценка стоимости услуг отопления и ГВС (на примере двухкомнатной квартиры) на период 6 лет. В основе этих расчетов лежат результаты работы Фонда по реализации программы внедрения системы поквартирного теплоснабжения для существующего жилого фонда.

Как видим, через пять лет инвестиции в программу полностью окупались. Стоимость услуг на выработку тепла постепенно начала снижаться. Результат этой программы – оптимальное использование газа и перевод населения на новую систему теплоснабжения без увеличения существующего тарифа, с включением в него инвестиционной составляющей на срок окупаемости.

Приведу примеры домов с крышными и пристроенными котельными (рис. 8 и 9), выполненными ООО "СанТехПроект", специалистами которого сохранили школу и продолжают традиции института "СантехНИИПроект".

В доме, изображенном справа на рис. 8 и расположенном в московском микрорайоне Куркино, мы впервые в России применили комплексную программу автономного теплоснабжения. Всего в Куркино создано порядка 40 таких котельных для жилых и общественных зданий.

Для сохранения архитектурного единства здания трубы от котлов были встроены в специальные ниши. Этот экспериментальный проект был удостоен национальной экологической премии 2005 года и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники в 2009 году.

На рис. 9 приведены крышная котельная в комплексе Москва-Сити мощностью 14 МВт и самая высокая в Европе ко-

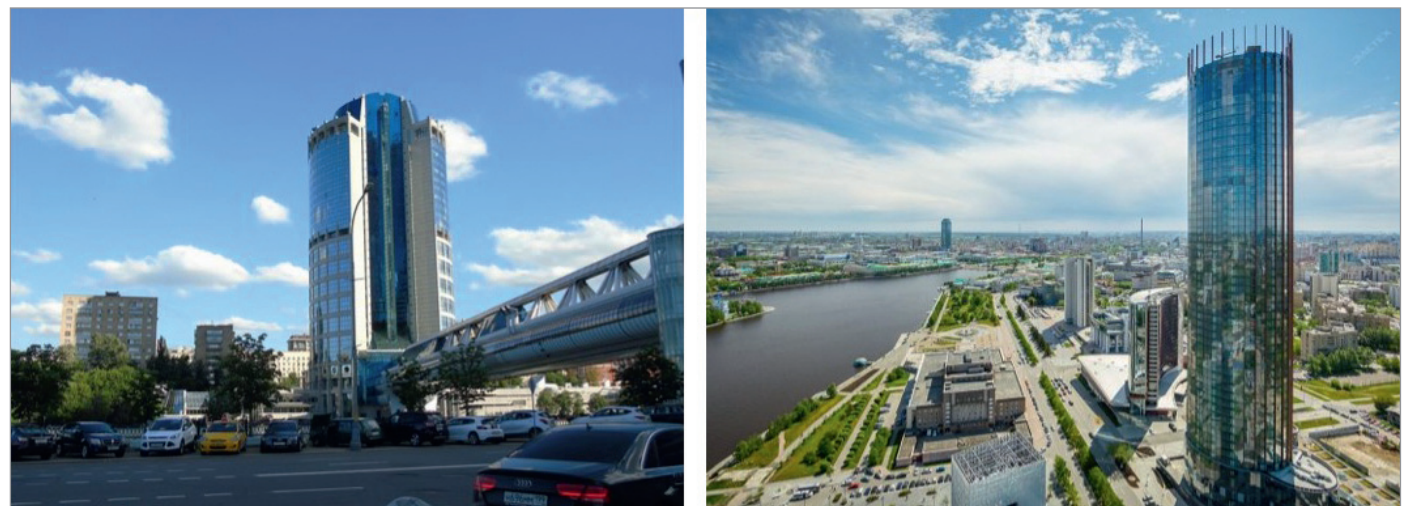


Рис. 9. Примеры домов с крышной котельной: слева – крышный АИТ на высоте 110 м. Комплекс Москва-Сити; справа – крышный АИТ на высоте 206,5 м. Башня "Исеть", г. Екатеринбург

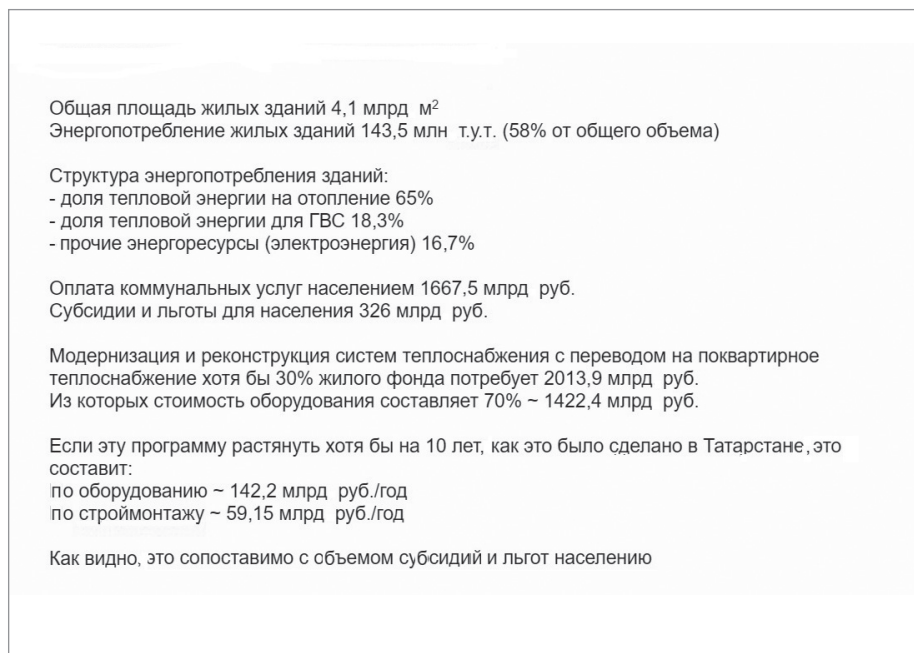


Рис. 10. Оценка рынка

тельная на крыше башни "Исеть" в Екатеринбурге.

Что мешает развитию децентрализованного теплоснабжения в России?

Результаты наших исследований показали, что АИТ, интегрированные в здания, позволяют диверсифицировать централизованную систему теплоснабжения, выступают альтернативным и эффективным вариантом модернизации действующей СЦТ на базе котельных. Исключение затрат на тепловые сети повышает инвестиционную привлекательность такой модернизации, поскольку позволяет включить инвестиционную составляющую в действующий тариф со сроком окупаемости инвестиций от трех до семи лет.

Главное препятствие развитию АИТ состоит в том, что при выборе схемы теплоснабжения альтернативные схемы не рассматриваются на равных условиях с традиционными. В законе такой порядок не предусмотрен, а теплоснабжающие организации придумывают обходные пути, чтобы затормозить эти процессы. Проектно-инжиниринговое бюро ООО "СанТехПроект" провело оценку рынка по всей стране и выяснило, что размер расходов на модернизацию и реконструкцию систем теплоснабжения существующего жилого фонда с его перево-

дом хотя бы на 30% на поквартирное теплоснабжение сопоставимы с объемом субсидий и льгот населению на коммунальные услуги (рис. 10).

Исключение затрат на тепловые сети повышает инвестиционную привлекательность такой модернизации, поскольку позволяет включить инвестиционную составляющую в действующий тариф со сроком окупаемости инвестиций от трех до семи лет

Выполнение такой программы позволит ликвидировать безвозвратные потери бюджета на субсидии и льготы и вернуть инвестиции за 5-6 лет, тогда как инвестиции в СЦТ практически не окупаются. С целью обеспечения нормативной базы проектирования инновационной технологии теплоснабжения на базе АИТ спе-

циалисты ООО "СанТехПроект" разработали и выпустили следующие нормативные документы:

- СП 373.1325800.2018 Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования;
- СП 334.1325800.2017 Свод правил. Квартирные тепловые пункты в многоквартирных жилых домах. Правила проектирования;
- СП 282.1325800.2016 Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства;
- СП 280.1325800.2016 Системы подачи воздуха на горение и удаления продуктов сгорания для теплогенераторов на газовом топливе. Правила проектирования и устройства.

Следующий важный шаг – принятие на региональном или федеральном уровне закона, в котором будет прописана возможность для жильцов большинством голосов выбирать для своего дома ту систему теплоснабжения, которую они считают оптимальной, а также включение в закон "О теплоснабжении" положения о равноправном рассмотрении и технико-экономическом и экологическом сравнении традиционных и альтернативных систем теплоснабжения.



*Альберт Шарипов,
 к.т.н.,
 генеральный директор
 ООО "СанТехПроект",
 заслуженный строитель России,
 лауреат премии
 Правительства РФ*

Видео выступления, посвященного затронутым в статье темам, смотрите на канале nanoCAD в YouTube: <https://youtu.be/jjcrUBB0VME> или на сайте информационно-поисковой системы NormaCS: <https://www.normacs.info/articles/830>.



➤ ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО с nanoCAD Конструкторский BIM. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Летом прошлого года компания "Нанософт" представила новый многообещающий продукт nanoCAD Конструкторский BIM. Первая версия выпущена в режиме "альфа-доступа" или "раннего доступа" — то есть с предоставлением заинтересованным пользователям бесплатной годовой полнофункциональной лицензии с последующим сбором предложений по улучшению функционала программы. Поскольку оценка и анализ средств автоматизации проектирования входят в мои прямые должностные обязанности, остаться в стороне от столь масштабного мероприятия я просто не мог. И вот программное обеспечение получено и установлено, выполнены несложные процедуры лицензирования, теперь можно начинать знакомство с возможностями отечественного конструкторского BIM-продукта.

В этом обзоре рассматривается лишь узкий аспект комплекса Конструкторский BIM, а именно возможность разработки параметрических узлов соединения металлоконструкций. Это направление выбрано не случайно — многолетний опыт внедрения и эксплуатации различных САПР выработал у автора глубокое

убеждение, что успешность подобных программных продуктов во многом определяется доступностью средств создания разного рода библиотек объектов, с помощью которых можно расширить возможности программы, ускорить процесс проектирования и вообще несколько скрасить суровые будни проектировщика, избавив его от тех или иных рутинных операций. В различных САПР такие объекты называются по-разному: в AutoCAD это могут быть, к примеру, многовидовые блоки, в AutoCAD

Architecture задача решается с помощью стилей архитектурных объектов, в AutoCAD MEP существуют библиотеки оборудования, в Revit — семейства и т.д. В nanoCAD также предусмотрен класс объектов, которые так и называются: параметрические объекты. Именно с ними нам сегодня и предстоит первое знакомство.

Параметрические объекты в nanoCAD создаются и редактируются с помощью специального инструмента — редактора параметрических элементов (рис. 1.2).

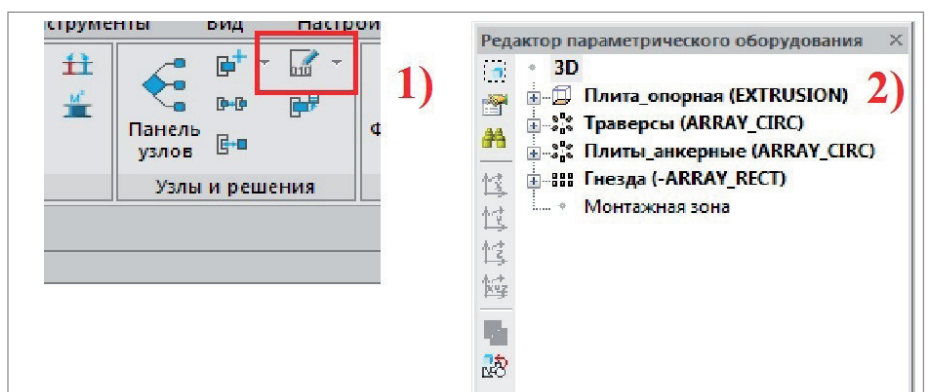


Рис. 1
1 — кнопка вызова редактора параметрических элементов;
2 — окно редактора

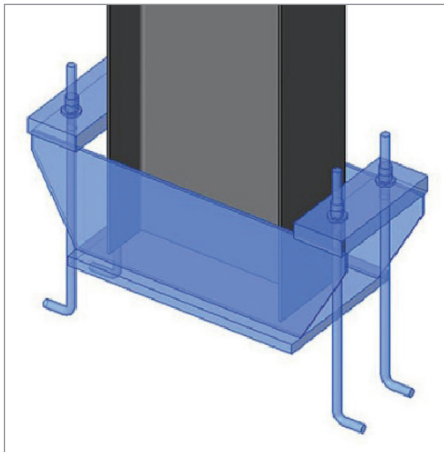


Рис. 2. Узел жесткого крепления колонны в проекте Revit

Вызвать редактор можно соответствующим инструментом с панели *Узлы и решения* вкладки *ВМ-конструктор* (рис. 1.1). В качестве объекта для моделирования хотелось бы рассмотреть узел жесткого крепления колонны. Статья, посвященная созданию семейства такого узла для Revit (рис. 2), была опубликована во втором номере журнала "САПР и графика"¹ за 2019 год. И сейчас, разрабатывая аналогичный объект в nanoCAD, мы сможем сравнить возможности создания новых конструкторских объектов в двух системах ВМ-моделирования – хорошо знакомой зарубежной и новой отечественной.

Рассматриваемый узел состоит из пяти элементов: опорной плиты, двух траверс и двух анкерных плит. Начать, очевидно, следует с создания геометрии элементов. На следующем этапе мы постараемся сформировать набор параметров нашего узла, позволяющий управлять размерами и положением его элементов. Итак, параметрический объект создан. В окне редактора он представлен в виде дерева подчиненных объектов (подобъектов). Набор возможных подобъектов приятно удивил: разного рода графические примитивы (трехмерные и планарные), массивы, группы, переменные и т.п. Пока же наш объект пуст, и нам только предстоит наполнить его содержанием. Большинство операций выполняется с помощью контекстного меню редактора. Начнем с создания геометрии элементов. Очевидно, что основные элементы узла мы будем создавать с помощью команд группы *3D Примитив*. Начнем с опорной плиты как наиболее простого элемента. Геометрически опорная плита представляет собой параллелепипед, и проще всего было бы использовать соответствующий 3D-примитив, но самый простой путь не всегда самый правильный. Дело в том, что базовой точкой 3D-примитива *Параллелепипед* является один из его узлов – такова уж особенность этого подобъекта. А по мнению автора, куда удобнее, если точкой

вставки опорной плиты будет геометрический центр ее нижней грани. Поэтому опорную плиту мы создадим с помощью примитива *Тело выдавливания*. Для создания такого тела нам понадобится контур, который необходимо построить в пространстве модели. Контур можно строить инструментами *Полилиния*, *Прямоугольник по 2 точкам*, *Прямоугольник по 3 точкам* и т.п. – это не принципиально. Самое главное, чтобы он был построен объектом типа *Полилиния* (рис. 3). Импорт в *3D Примитив* контура, построенного, скажем, с помощью отрезков, попросту невозможен. Предположим, что габариты плиты по умолчанию составляют 750x450x30 мм. Соответственно, строим прямоугольник шириной 750 и высотой 450 мм. Теперь можно переходить к процессу создания 3D-примитива. В контекстном меню выбираем команду *Тело выдавливания* (рис. 4). Результат выполнения команды представлен на рис. 5. По умолчанию тело выдавливания представляет собой цилиндр (рис. 5.1). Цилиндр нам не нужен, мы уже подготовили контур будущей плиты, поэтому смело очищаем объект от содержимого. Для этого в редакторе параметрических элементов открываем узел *EXTRUSION* (рис. 5.2) – так по умолчанию называется тело; выделяем подчиненный ему элемент *ARC* (рис. 5.3) – этот подэлемент характери-

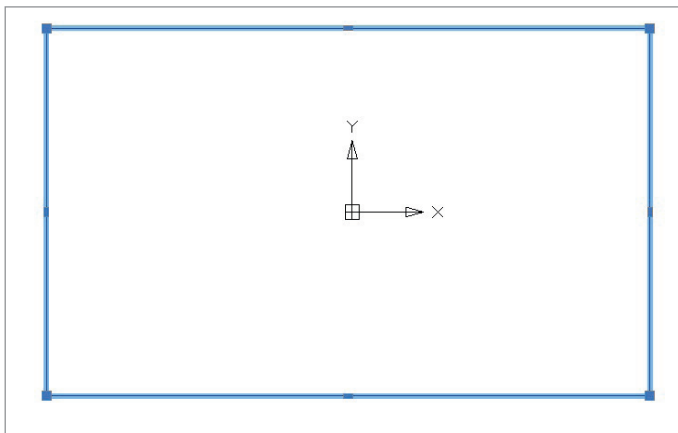


Рис. 3. Контур опорной плиты в пространстве модели

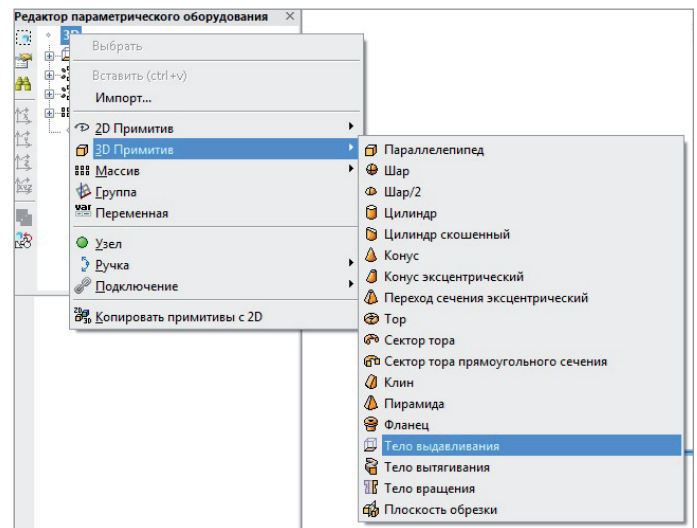


Рис. 4. Контекстное меню редактора параметрического оборудования. В группе *3D Примитив* выбран пункт *Тело выдавливания*

¹ А. Коноваленко. Семейство узла жесткого крепления колонны в Revit. – САПР и графика, № 2, 2019, с. 26-31.

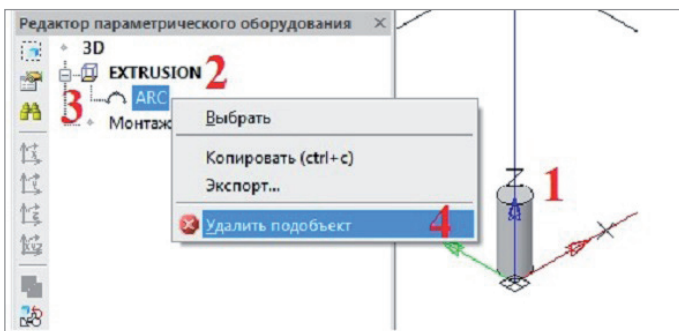


Рис. 5. Очистка элемента *Тело выдавливания*
 1 – элемент в пространстве модели;
 2 – имя элемента в редакторе параметрического объекта;
 3 – подобъект-контур;
 4 – команда удаления подобъекта

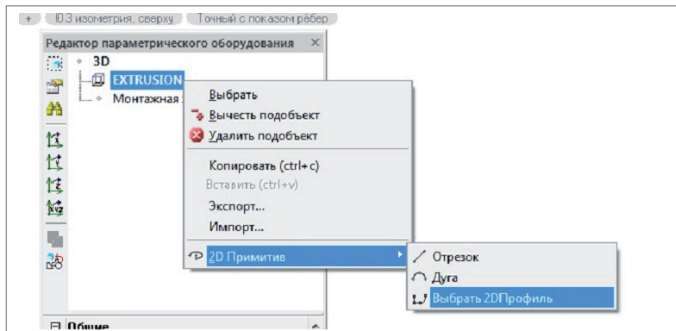


Рис. 6. Импорт профиля из модели

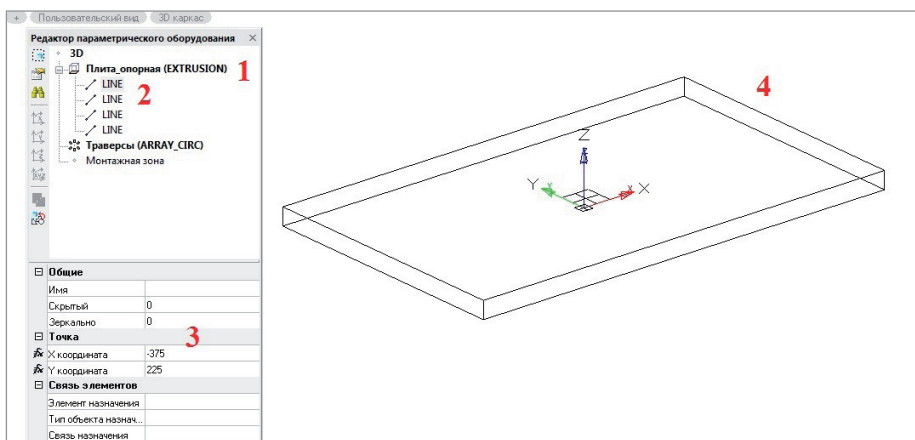


Рис. 7
 1 – подобъект *Плита_опорная* в редакторе параметрического оборудования;
 2 – линии контура подобъекта;
 3 – свойства подобъекта;
 4 – геометрия подобъекта в окне модели

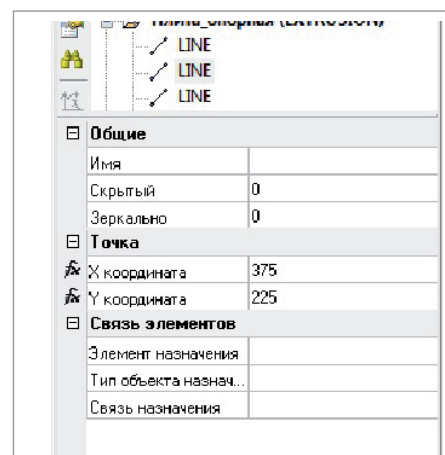


Рис. 8. Свойства линейного объекта

зует контур объекта. Вызываем контекстное меню и удаляем основу геометрии цилиндра командой *Удалить подобъект* (рис. 5.4).

Добавляем к элементу EXTRUSION нашу геометрию. Выбрав элемент в редакторе, вызовем контекстное меню и выполним команду *2D Примитив* → *Выбрать 2D Профиль* (рис. 6).

Далее следует стандартная процедура выбора контура в пространстве модели. Затем nanoCAD попросит указать базовую точку (укажем геометрический центр ранее построенного прямоугольника) и базовую ось (укажем ось X). В пространстве модели получаем 3D-модель опорной плиты.

Отредактируем свойства подобъекта EXTRUSION: в свойство *Имя* введем имя подобъекта (*Плита_опорная*), а в свойство *Высота* – высоту выдавливания (30 мм). Таким образом, мы получили первый из подобъектов нашего параметрического узла – прямоугольную плиту размерами 750x450x30 мм, с именем *Плита_опорная* (рис. 7).

Рассмотрим созданный объект поподробнее. Для начала раскроем подобъект *Плита_опорная* (рис. 7.1). Он также имеет подчиненные объекты – линии контура объекта выдавливания (рис. 7.2). Каждая из линий имеет собственный набор свойств – правда, этот набор представляется мне далеко не полным (рис. 8). Из геометрических атрибутов линейного объекта в окне свойств представлена только координата начальной точки. А ведь, к примеру, в нашем случае очень полезным оказалось бы такое свойство линии, как *Длина*. Надеюсь, в следующих версиях набор свойств будет расширен, а пока будем работать с тем, что есть.

Эти свойства нам нужно будет параметризовать. Других у нас просто нет. Сначала порассуждаем. У нас четыре линейных объекта. Начальные точки линий одновременно являются угловыми точками контура опорной плиты. Нам предстоит создать параметры, описывающие длину, ширину и толщину плиты, чтобы в дальнейшем управлять ее размерами.

О толщине скажем чуть позже, а вот с параметрами длины и ширины нам нужно будет связывать именно значения координат угловых точек. Начнем с создания набора параметров. Для этого в редакторе параметрического оборудования предусмотрен специальный (причем весьма интересный и удобный) инструмент – редактор параметров. Редактор вызывается с помощью кнопки *Свойства* на инструментальной панели редактора параметрического оборудования (рис. 9).

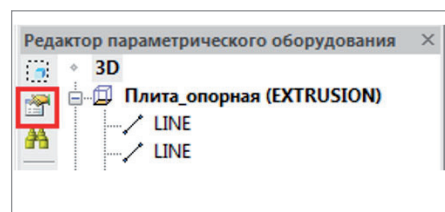


Рис. 9. Инструмент *Свойства* редактора параметрического оборудования

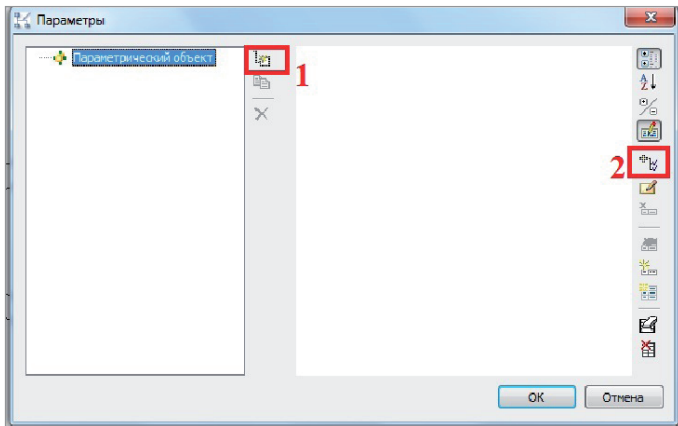


Рис. 10. Диалог *Параметры*. Цифрами обозначены инструменты *Создать подчиненный объект* (1) и *Добавить параметр из списка* (2)

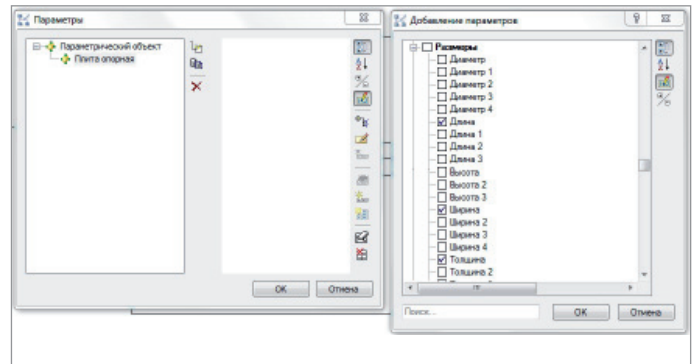


Рис. 11. Выбор параметров подчиненного объекта

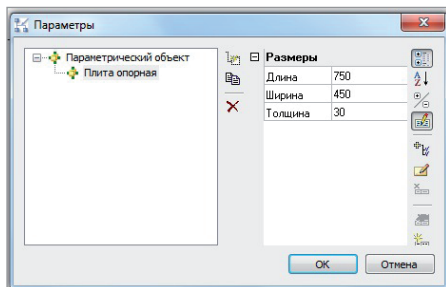


Рис. 12. Параметры подчиненного объекта

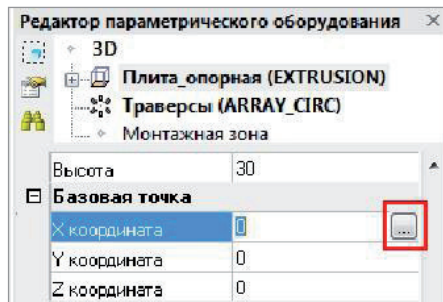


Рис. 13. Кнопка вызова *Мастера функций*

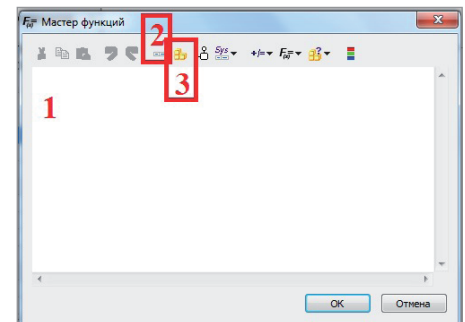


Рис. 14. Окно *Мастера функций*
1 – редактор функций;
2 – инструмент *Добавить параметр*;
3 – инструмент *Добавить запрос к текущему элементу*

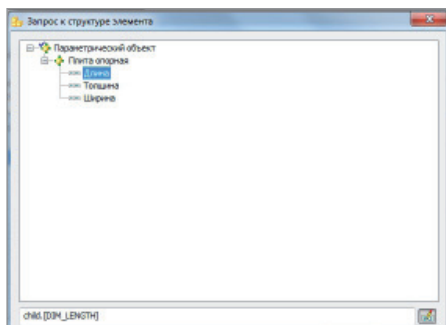


Рис. 15. Выбор параметров подобъекта

Итак, перед нами окно редактора параметров – диалог *Параметры* (рис. 10). Элементы параметрического объекта, к параметрам которых нам необходимо будет обращаться, являются *подчиненными объектами*. Пока у нас только один такой объект – опорная плита. Добавим ее с помощью соответствующего инструмента (рис. 10.1). После этого выделим созданный подобъект в дереве и перейдем к созданию параметров (рис. 10.2). В следующем диалоге (рис. 11) отметим флажками имена нужных нам параметров. Для нашего случая это параметры *Длина*, *Ширина* и *Толщина* из группы *Размеры*. Отмеченные параметры добавляются к списку диалога *Параметры*. Теперь

у нас есть возможность задать им численные значения (рис. 12). Прежде чем продолжить работу, необходимо четко понять, что свойства графического примитива, доступные в панели свойств (см. рис. 7), и параметры, созданные с помощью редактора параметров, – не одно и то же. И чтобы управлять геометрией объектов с помощью параметров, нам предстоит еще связать одно с другим. Сделать это нам поможет *Мастер функций* (рис. 14) – многофункциональный инструмент, обеспечивающий создание расчетных формул высокой сложности. В данном случае именно *Мастер функций* позволит нам построить набор формул для расчета геометрических параметров опорной плиты. Запустить его можно для любого свойства подобъекта с помощью кнопки вызова, расположенной рядом с полем значения свойства (рис. 13). Итак, мы выбрали одну из линий контура и вызвали *Мастер функций* для свойства *X-координата*, чтобы связать его значение с параметром *Длина*. При первом запуске редактор функций пуст (рис. 14.1). В процессе описания

функции именно в него будут вводиться ее аргументы, операторы и т.п. А обращаться к параметрам объекта и подобъектов мы будем с помощью инструментов *Добавить параметр* (рис. 14.2) и *Добавить запрос к текущему элементу* (рис. 14.3). Сейчас нам как раз необходимо обратиться к параметрам текущего элемента (опорной плиты), поэтому смело жмем кнопку, отмеченную на рис. 14 цифрой 3. Открывается новый диалог, *Запрос к структуре элемента*, где нужно просто раскрыть дерево параметров и выбрать нужную ветку (рис. 15). Выберем параметр *Длина*. Закрываем диалог *Запрос к структуре элемента* кнопкой *ОК*. В окне *Мастера функций* остается строка `child.[DIM_LENGTH]`. Прямо в текстовом поле редактора допишем ее до следующей формулы:

$$\text{child.[DIM_LENGTH]}*(-1)/2$$

С помощью этой формулы мы связали *X-координату* точки с длиной опорной

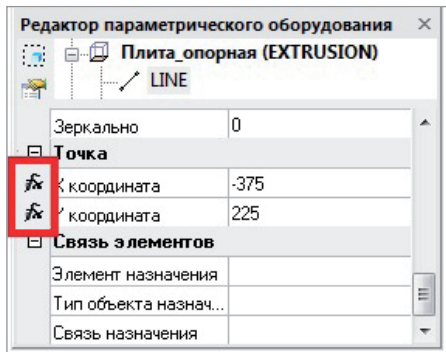


Рис. 16. Обозначения рассчитываемых свойств

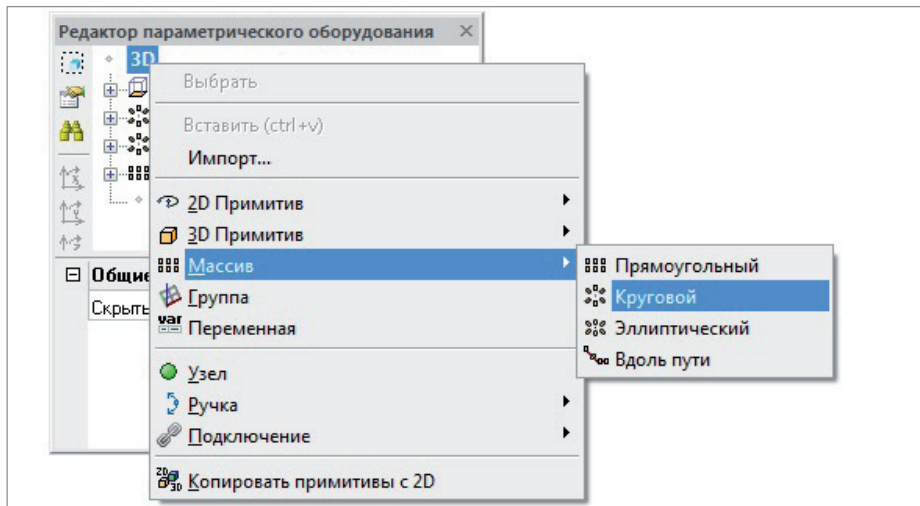


Рис. 17. Создание кругового массива

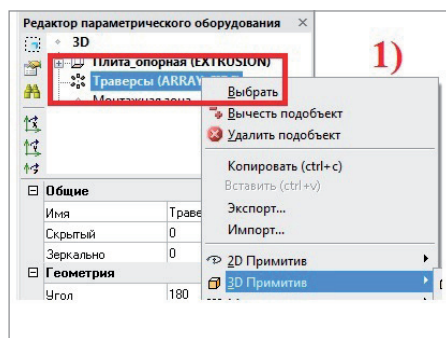


Рис. 18
1 – создание элемента кругового массива;
2 – элемент массива в окне редактора

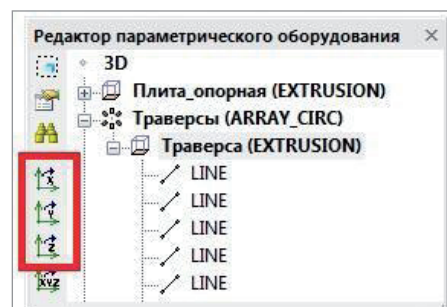
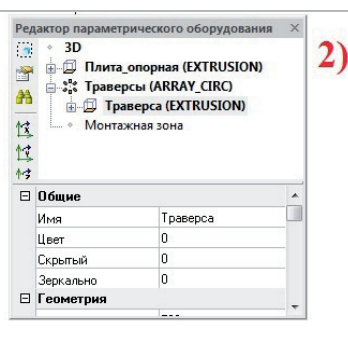


Рис. 19. Инструменты поворота подобиъекта

Таблица 1. Свойства кругового массива

Свойство	Значение
Имя	Траверы
Угол	180
X-координата	0
Y-координата	0
Z-координата	0
Уровней	1
Элементов	2

плиты, и теперь при изменении длины начальная точка всегда будет сдвигаться влево по оси X на расстояние, равное половине длины плиты.

Аналогично поступим со свойством *Y-координата*, задав ему значение

$$\text{child}.[\text{DIM_WIDTH}]/2$$

Теперь в панели свойств свойства *X-координата* и *Y-координата* обозначены значком функции (рис. 16), свидетельствующим о том, что значения этих свойств имеют расчетный характер.

Выделим в редакторе объект *Плита опорная* и, по аналогии с описанной процедурой, свяжем свойство *Высота* с параметром *Толщина*.

Теперь размеры опорной плиты будут изменяться в зависимости от значений связанных с ними параметров.

Переходим к созданию других элементов узла. Начнем с траверс. Здесь ситуация сложнее. Во-первых, траверс в нашем узле целых две. Во-вторых, траверсы должны располагаться в продольном направлении плиты, на равном расстоянии от ее геометрического центра (см. рис. 2). Расстояние между траверса-

ми определяется шириной сечения колонны. Соответственно, при необходимости это расстояние должно меняться. Полагаю, тут разумнее всего использовать подэлемент *Круговой массив*. Он добавляется к структуре объекта с помощью команды *Массив* → *Круговой* контекстного меню (рис. 17).

Свойства массива зададим в соответствии с табл. 1.

Массив траверс создан, но пока пуст. На следующем этапе необходимо создать подчиненный массиву элемент *Траверса*. Процедура создания траверсы мало чем отличается от процедуры создания опорной плиты: создание примитива *Тело выдавливания*, удаление контура по умолчанию, импорт контура из полилинии. Тем не менее одно, но существенное отличие все-таки есть. Для того чтобы создать элемент массива, контекстное меню необходимо вызывать при выделенном в редакторе элементе массиве *Траверы* (рис. 18.1). Как выглядит созданный элемент, показано на рис. 18.2.

Чтобы корректно расположить траверсы в пространстве, воспользуемся кнопками *Повернуть по оси* на панели инструментов редактора (рис. 19).

Таблица 2. Свойства подэлемента *Траверса*

Свойство	Значение
Имя	Траверса
Высота	30
Базовая точка	
X-координата	0
Y-координата	150
Z-координата	30

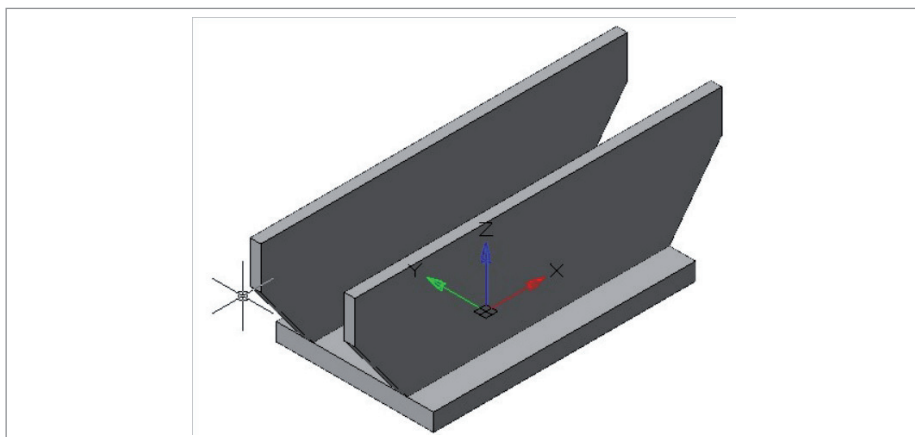


Рис. 20. Опорная плита с траверсами

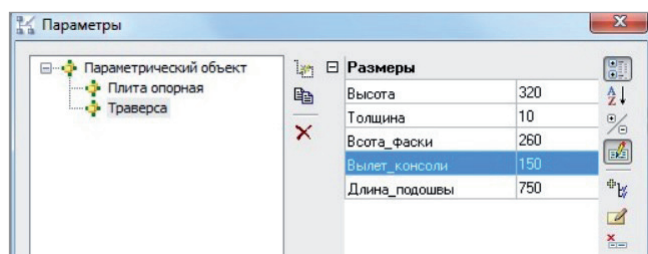


Рис. 21. Параметры объекта *Траверса*

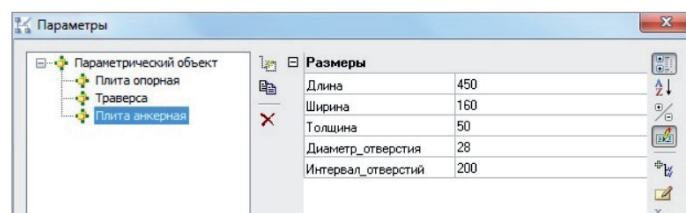


Рис. 22. Параметры анкерной плиты

Таблица 3. Свойства линий контура элемента *Траверса*

Свойства группы <i>Точка</i>		Значение (формула) для свойства	
X	Y	X-координата	Y-координата
-375	0	$-1 * \text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2$	0
375	0	$\text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2$	
-525	320	$1 * (\text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}])$	$\text{child}(2).[\text{DIM_HEIGHT}]$
525	320	$\text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}]$	$\text{child}(2).[\text{DIM_HEIGHT}]$
-525	200	$1 * (\text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}])$	$\text{child}(2).[\text{ВЫСОТА_ФАСКИ}]$
525	200	$\text{child}(2).[\text{Длина_подошвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}]$	$\text{child}(2).[\text{ВЫСОТА_ФАСКИ}]$

Свойства подэлемента *Траверса* задаем на основе табл. 2.

Как после всех этих операций будет выглядеть объект в пространстве модели, показано на рис. 20.

Размеры траверсы будут регулироваться пятью параметрами: *Высота*, *Толщина*, *Длина подошвы*, *Вылет консоли*, *Высота фаски*.

Для объекта *Траверса* вызовем уже знакомый диалог *Параметры*, сформируем набор параметров и зададим для них значения по умолчанию (рис. 21).

Свяжем свойства линий контура траверсы с ее параметрами. Правда, здесь работы будет побольше, чем с плитой, что объяснимо: в контуре траверсы просто-напросто больше линий.

Идентификация линий контура в редакторе, к сожалению, затруднена. Было бы куда удобнее, если бы при выделении линии в дереве она подсвечивалась в пространстве модели. Надеюсь, в дальнейшем разработчики обратят на это внимание. А пока в качестве идентификатора будем использовать комбинацию из свойств группы *Точка*: *Координата X* и *Координата Y*. И значения этих же свойств будем задавать с помощью формул, построенных в Мастере функций (табл. 3). Чтобы добавить к узлу анкерные плиты, нам также придется создать круговой массив, содержащий два подэлемента *Плита_анкерная*. Процедура эта в принципе не отличается от создания массива траверс — с той лишь разницей, что в свойство базовой точки *Z-координата*

кругового массива мы поместим другую формулу:

$$\text{child}([\text{DIM_THICKNESS}] + \text{child}(2).[\text{DIM_HEIGHT}]),$$

где $\text{child}([\text{DIM_THICKNESS}]$ — толщина опорной плиты, а $\text{child}(2).[\text{DIM_HEIGHT}]$ — высота траверсы. Таким образом, анкерные плиты оказываются жестко привязаны к верхнему основанию траверсы.

Как и в случае с опорной плитой, добавим для анкерной плиты ее размеры (длину, ширину и толщину) с помощью редактора параметров. Кроме того, нам понадобятся параметры, описывающие положение и размер отверстий под анкерные болты: *Диаметр_отверстия* и *Интервал_отверстий* (рис. 22).



Таблица 4. Свойства линий контура элемента *Плита_анкерная*

Свойства группы <i>Точка</i>		Значение (формула) для свойства	
X	Y	X-координата	Y-координата
-80	225	$-1 * \text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2$	$\text{child}(3).[\text{DIM_LENGTH}]/2$
80	225	$\text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2$	$\text{child}(3).[\text{DIM_LENGTH}]/2$
80	-225	$\text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2$	$-1 * \text{child}(3).[\text{DIM_LENGTH}]/2$
-80	-225	$-1 * \text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2$	$-1 * \text{child}(3).[\text{DIM_LENGTH}]/2$

Таблица 5. Формулы параметризации точки вставки анкерной плиты

X-координата	$-\text{child}(2).[\text{Длина_подшвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}] - \text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2$
Y-координата	0
Z-координата	0

Таблица 6. Свойства прямоугольного массива

Имя свойства	Значение (формула)
Общие	
Имя	Гнезда
Базовая точка	
X-координата	$-1 * (\text{child}(2).[\text{Длина_подшвы}]/2 + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}] - \text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]/2)$
Y-координата	$-1 * \text{child}(3).[\text{Интервал_отверстий}]/2$
Z-координата	$\text{child}(2).[\text{DIM_HEIGHT}] + \text{child}.[\text{DIM_THICKNESS}]$
Количество	
Столбцов	2
Уровней	1
Строк	2
Расстояние	
Между столбцами	$\text{child}(2).[\text{Длина_подшвы}] + \text{child}(2).[\text{Вылет_консоли}] * 2 - \text{child}(3).[\text{DIM_WIDTH}]$
Между уровнями	0
Между строками	$\text{child}(3).[\text{Интервал_отверстий}]$

И, как в двух предшествующих случаях, свяжем свойства линий контура с параметрами анкерной плиты (табл. 4). Теперь положение оконтуривающих линий анкерной плиты будет изменяться в зависимости от значения свойств *Длина* и *Ширина* этого подобъекта.

Похожим образом поступаем с координатами точки вставки анкерной плиты (табл. 5).

Таким образом, геометрия параметрического узла приобретает вид, представленный на рис. 23.

Осталось добавить отверстия под анкерные болты. Добавим к узлу еще один массив, на этот раз прямоугольный (ARRAY_RECT). Свойства массива зададим в соответствии с табл. 6.

В массив поместим объект Цилиндр (CYLINDER), свойства которого установим так, как показано в табл. 7.

Чтобы отверстия вырезались из анкерной плиты, выделим в редакторе массив *Гнезда* и выполним команду контекстного меню *Вычесть подобъект* (рис. 24).

Массив отметится в дереве значком "минус", а к параметрическому объекту (в редакторе) добавятся гнезда для анкерных болтов (рис. 25).

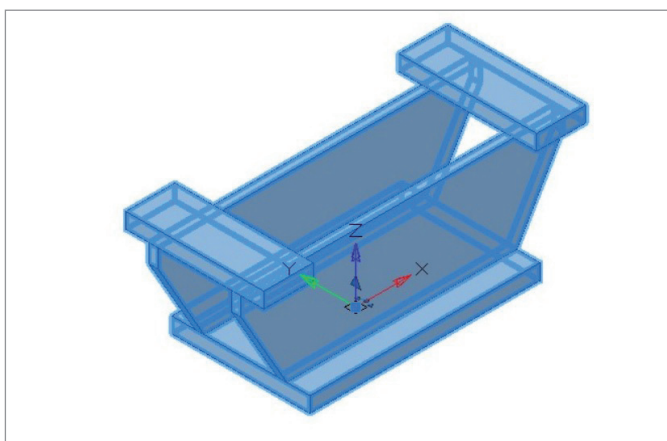


Рис. 23. Параметрический узел в окне модели

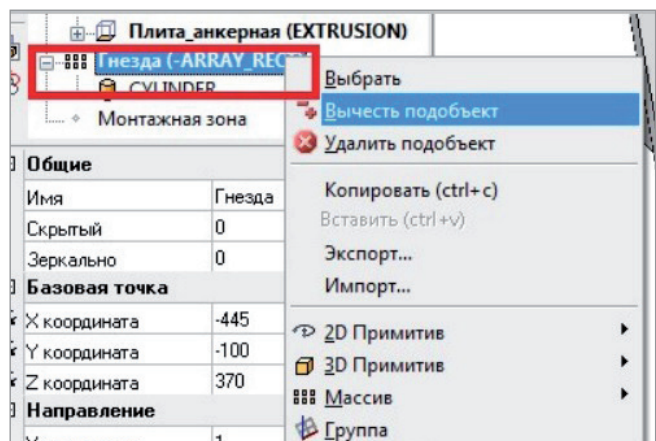


Рис. 24. Вычитание подобъекта

Таблица 7. Свойства прямоугольного массива

Имя свойства	Значение (формула)
Геометрия	
Высота	child(3).[DIM_THICKNESS]
Радиус	child(3).[Диаметр_отверстия]/2

Впоследствии работу с параметрами только что созданного объекта можно продолжить – к примеру, поставить габариты элементов узла в зависимость от размеров профиля колонны. К сожалению, рамки краткого обзора просто не позволят нам рассмотреть все возможности параметризации, тем более что здесь многое зависит от фантазии разработчика.

Для многократного использования параметрического объекта его можно добавить в библиотеку *Узлы и готовые решения*. Для этого достаточно запустить инструмент *Добавить объект в библиотеку* (рис. 26.1). После того как объект выбран в пространстве модели, он помещается в библиотеку решений (рис. 26.2).

Александр Коноваленко,
старший инженер по САПР,
ООО "Забайкалзолотопроект"

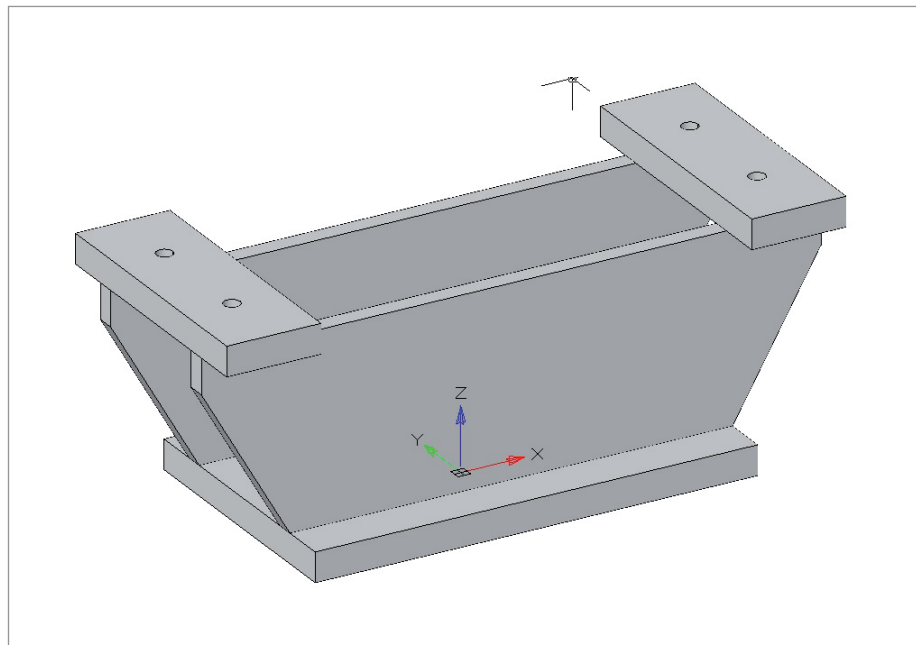


Рис. 25. Вид узла в пространстве модели

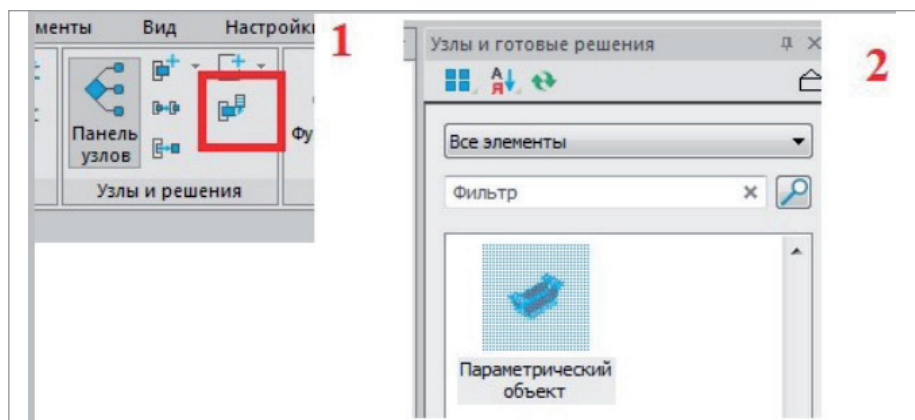


Рис. 26
1 – инструмент *Добавить объект в библиотеку*;
2 – параметрический объект в библиотеке решений

Дворец гимнастики в Лужниках выиграл строительный "Оскар" в Каннах



Дворец художественной гимнастики Ирины Винер-Усмановой стал обладателем престижной премии в сфере девелопмента и архитектуры MIPIM Awards 2020. В номинации "Лучший спортивный и культурный объект" спортивный центр обошел пекинский центр искусств "Гардиа", здание конгресс-центра во французском городе Мец и стадион "Тоттенхэм Хотспур" в Лондоне.

На звание лучших в 11 номинациях претендовали 228 работ из 45 стран.

Дворец гимнастики Ирины Винер-Усмановой открылся в олимпийском комплексе "Лужники" в 2019 году. Визитной карточкой здания стала крыша в виде развевающейся гимнастической ленты. Фасад дворца представляет собой витражное остекление высотой до 26 м. Благодаря трибунам-трансформерам на главной арене могут проходить как спортивные мероприятия, так и концерты. Архитекторы проекта – ТПО "Прайд", девелопер – USM Development.

Выставка MIPIM считается главной деловой площадкой для поиска инвесторов в мировом девелоперском сообществе, а премия MIPIM Awards – девелоперским "Оскаром". Оба мероприятия ежегодно проходят в Каннах на Лазурном Берегу Франции.

В этом году в финал международного конкурса MIPIM Awards, который традиционно проводится в дни выставки, вышли пять московских проектов: Дворец художественной гимнастики Ирины Винер-Усмановой, больница в Коммунарке (Новая Москва), проект благоустройства Москвы-реки, проект развития территории Бадаевского пивоваренного завода и программа реновации в Москве.

В 2019-м финалистами MIPIM Awards стали два российских проекта: модернизация стадиона "Лужники" перед чемпионатом мира по футболу и парк "Зарядье". Парк был отмечен специальным призом жюри – первым среди российских проектов за 30 лет существования премии.

Опубликовано:
<https://realty.rbc.ru>



➤ СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОГРАММЕ nanoCAD Конструкторский BIM

Работа проектировщика – это процесс, с одной стороны, требующий следования нормам, ГОСТам и инструкциям, а с другой – создания новых элементов и конструкций под "нестандартные" проекты. Возможно, в ходе работы над тем или иным проектом у вас возникла необходимость создать собственные объекты, отвечающие конкретной ситуации, либо требовалось модернизировать уже имеющиеся библиотечные элементы. При решении таких задач удобна возможность вносить изменения в габаритные размеры элемента, сохраняя при этом его внутреннюю структуру. А в перспективе – создать в библиотеке элементов специальный раздел, чтобы всегда иметь полученные объекты под рукой.

В этой статье мы предлагаем вам познакомиться с инструментом программы nanoCAD Конструкторский BIM, который позволяет решить эти задачи, – Редактором параметрического оборудования.

Мы узнаем, как создавать необходимую нам геометрию, как пользоваться Мастером функций и параметризовать объекты, каким образом задавать новые или редактировать имеющиеся свойства объектов, как создавать "ручки" для перемещения объекта в поле чертежа.

Процесс создания параметрического объекта в программе nanoCAD Конструкторский BIM поэтапно рассматривается на примере вентиляционного блока.

Построим блок по имеющемуся чертежу (рис. 1).

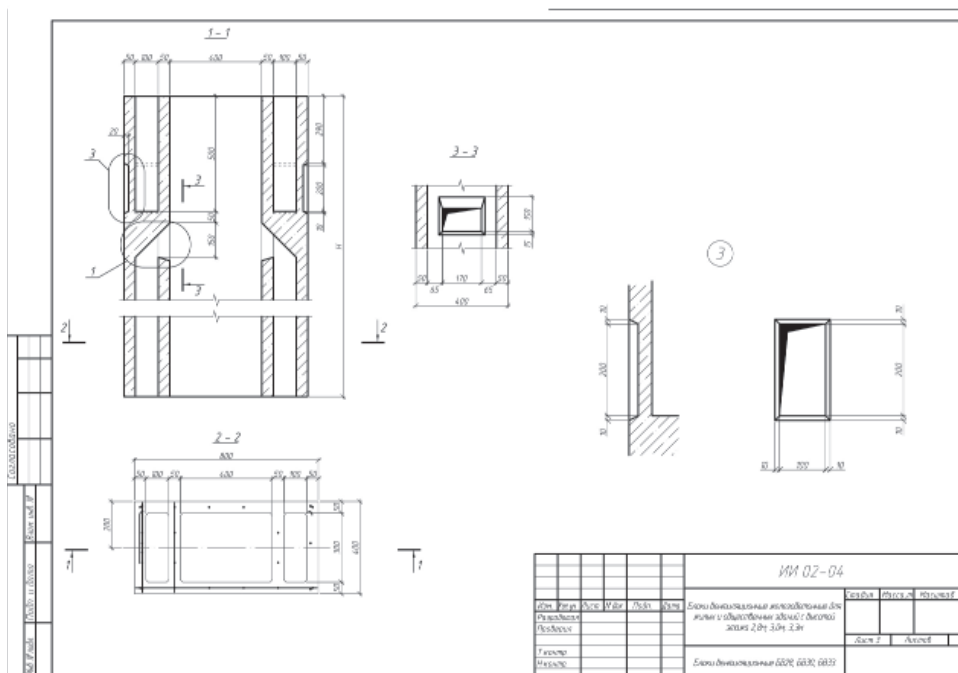


Рис. 1. Чертеж вентиляционного блока

Для создания параметрических объектов и их последующего редактирования используются команды *Создать параметрический объект* и *Редактор параметрического элемента*, расположенные на вкладке *ВМ Конструктора*, панель *Узлы и решения* (рис. 2).

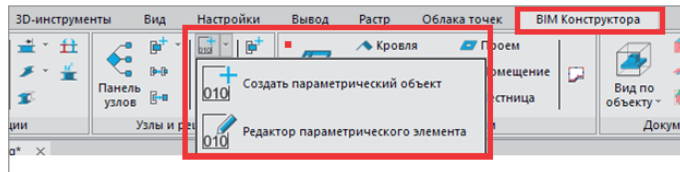


Рис. 2. Расположение команд *Создать параметрический объект* и *Редактор параметрического элемента*

Выбираем команду *Создать параметрический объект*. Открывается панель Редактора параметрического оборудования, которую при необходимости можно поместить в любом удобном месте пространства чертежа (рис. 3).

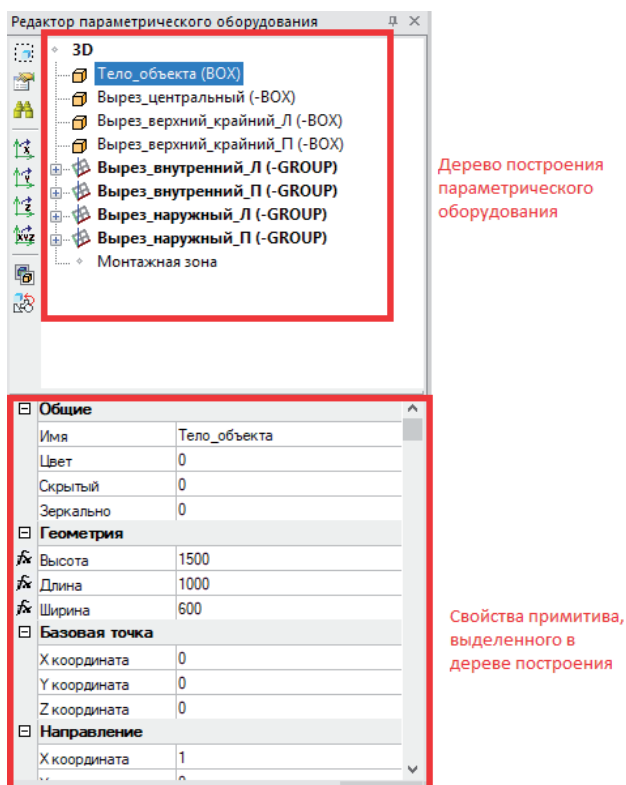


Рис. 3. Панель Редактора параметрического оборудования

Также в пространстве чертежа появляется маркер системы координат (рис. 4), который обозначает точку вставки будущего параметрического объекта с координатами 0.0.0.

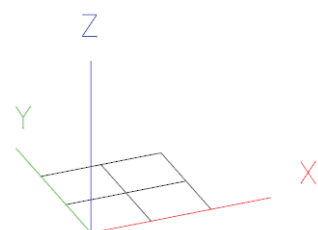


Рис. 4. Маркер системы координат

Создание тела объекта

Правой кнопкой мыши (ПКМ) щелкаем по *3D* и в открывшемся меню выбираем *3D Примитив* → *Параллелепипед* (рис. 5).

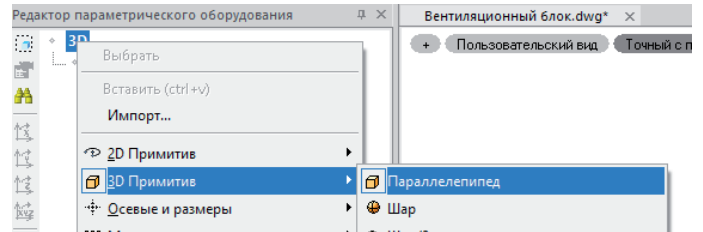


Рис. 5. Вставка 3D-примитивов

В дереве структуры объекта появилось обозначение созданного примитива (BOX), а ниже отобразились его параметры и свойства.

Сразу же стоит сделать еще один шаг, который позже позволит нам избежать путаницы с созданными примитивами, а именно задать имена примитивов. Для этого в пункте *Имя* свойств примитива BOX укажем: *Тело объекта* (рис. 6).

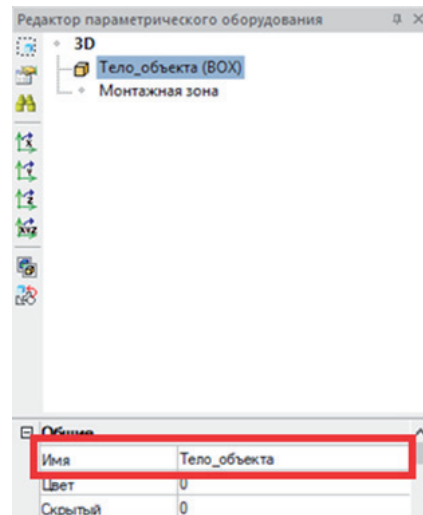


Рис. 6. Изменение имени объекта

Чтобы в будущем редактировать размеры и другие атрибуты параметрического оборудования через окно свойств, а также для привязки расположения и геометрии других примитивов, зададим свойства параметрического оборудования.

В окне Редактора параметрического оборудования выделим пункт *3D*, а затем в вертикальной панели инструментов, расположенной с левой стороны, выберем *Свойства* (рис. 7).

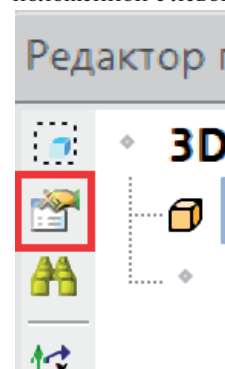


Рис. 7. Свойства на вертикальной панели инструментов

Для начала зададим название параметрического объекта, которое в дальнейшем также будет отображаться в свойствах. В открывшемся окне щелкаем несколько раз на *Параметрическом объекте* и вводим необходимое название – в нашем случае *Вентиляционный блок*.

Далее добавим параметры для объекта. Для этого на правой вертикальной панели выбираем *Добавить параметры из списка* (рис. 8).

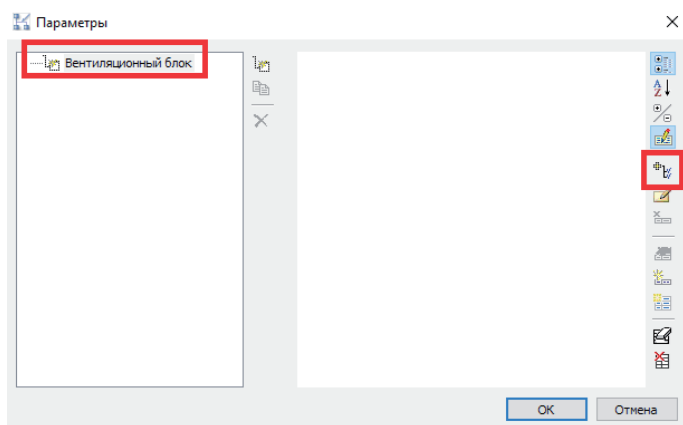


Рис. 8. Параметры объекта

В открывшемся окне видим список всех параметров и для удобства выбора сворачиваем его, щелкнув по кнопке +/- (рис. 9).



Рис. 9. Кнопка сворачивания/разворачивания списка параметров

Затем выбираем раздел *Размеры*, разворачиваем его и отмечаем длину, высоту и ширину – на начальном этапе этих свойств достаточно. Нажимаем *OK*, в окне свойств появятся выбранные параметры. Позже таким же образом можно задать/добавить любые необходимые свойства.

Для нашего объекта задаем длину 800, высоту 1200 и ширину 400. Нажимаем *OK*.

Следующим шагом установим связь заданных свойств с параметрическим объектом. Для этого в окне Редактора выделяем примитив "Тело объекта", переходим в его свойства (например, *Длина*) и справа нажимаем кнопку с многоточием (рис. 10).

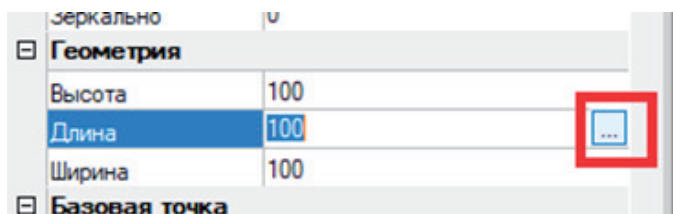


Рис. 10. Геометрические свойства примитивов

В открывшемся окне Мастера функций выбираем команду запроса к текущему элементу (рис. 11).

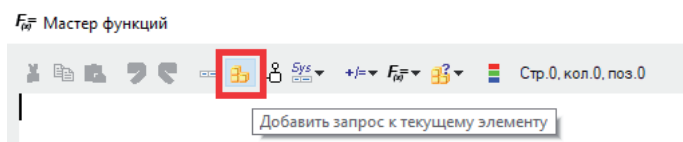


Рис. 11. Окно Мастера функций

Выбираем параметр *Длина*, нажимаем *OK*, а затем снова *OK*. В поле чертежа видим, что длина построенного элемента изменилась (рис. 12), а напротив свойства *Длина* появился значок *fx*, указывающий, что значение параметра определяется по формуле.

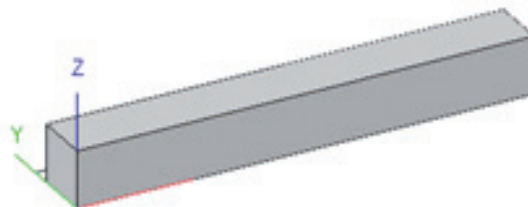


Рис. 12. Изменившийся элемент в поле чертежа

Аналогичным образом создаем связь для высоты и ширины объекта.

Создание внутренних вырезов

Приступим к созданию внутренних вырезов и начнем с большого центрального сквозного выреза.

Центральный вырез

Для выреза создаем еще один 3D BOX Параллелепипед, который по умолчанию располагается в начале координат. Зададим его имя: *Вырез центральный*. Далее для большей наглядности сначала изменим размер, а затем и координаты объекта.

Чтобы наш объект был параметризован, свяжем размеры будущего выреза с общими габаритными размерами блока. Из чертежа мы знаем, что толщина стенки вентиляционного блока – 50 мм, длина выреза составляет половину габаритной длины, а по высоте вырез будет сквозным, то есть на всю высоту детали.

Вновь используем Мастер функций для задания свойств. Для ширины выреза задаем значение ширины блока: 100 мм (по 50 мм для каждой стороны) – $[DIM_WIDTH]-100$. Для задания длины выреза вычитаем из длины блока длины крайних вырезов и толщину стенок: $[DIM_LENGTH]-400$. Для указания высоты задаем значение высоты блока: $[DIM_HEIGHT]$.

Полученный результат показан на рис. 13.

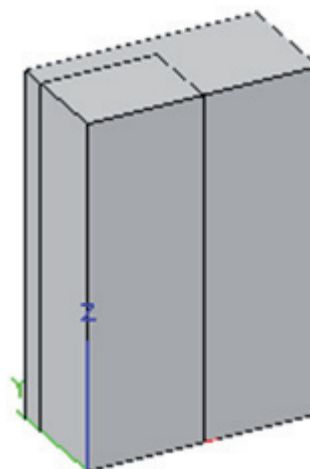


Рис. 13. Результат изменения размеров выреза

Теперь, когда мы установили необходимые размеры, поместим наш будущий вырез в нужном месте. В свойствах выреза обратим внимание на координаты базовой точки (рис. 14).

Базовая точка	
X координата	0
Y координата	0
Z координата	0

Рис. 14. Координаты базовой точки примитива

Зададим координаты через Мастер функций и формулы.

- Для координаты X введем значение 200.
- Для координаты Y – значение 50.
- Координату Z оставляем равной 0.

Мы задали геометрические размеры и расположили *Вырез_центральный* в необходимом нам месте. Следующим шагом вычтем его из основного тела. Для этого щелкаем ПКМ по *Вырезу* и в открывшемся меню выбираем *Вычесть подобъект* (рис. 15).

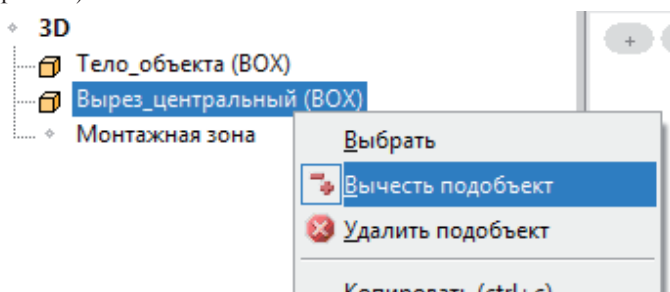


Рис. 15. Вычитание примитива

Вырезанный элемент окрашивается зеленым цветом. Чтобы увидеть, как будет выглядеть наш объект, снимем выделение с выреза нажатием на пункт *3D*.

Результат представлен на рис. 16.

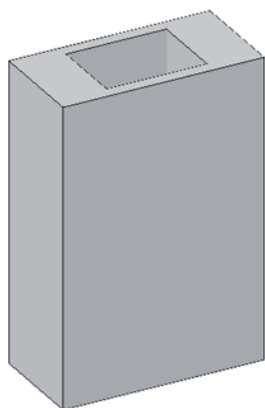


Рис. 16. Центральный вырез

Создание крайних верхних вырезов

Левый верхний вырез

Теперь нам предстоит создать крайние верхние вырезы. Начинаем с левого:

- вновь создаем 3D-примитив *Параллелепипед*;
- присваиваем ему имя *Вырез_верхний_крайний_Л*.

В нашей модели крайний вырез имеет глубину 500 мм и длину 100 мм, а ширина должна обеспечивать толщину стенки 50 мм.

Назначаем геометрические размеры:

- высота: 500;
- длина: 100;
- ширина: $[DIM_WIDTH]-100$ (указывается через Мастер функций).

Полученный результат представлен на рис. 17.

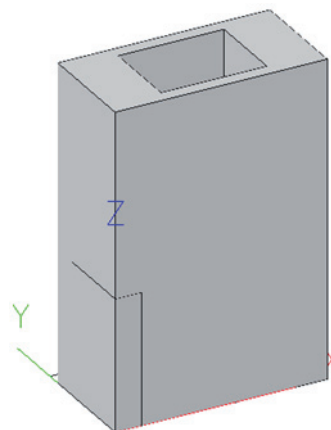


Рис. 17. Результат изменения геометрических размеров примитива

Зададим координаты базовой точки через Мастер функций, что позволит нам при изменении габаритных размеров блока быть уверенными, что вырез останется на своем месте:

- X-координата: 50;
- Y-координата: 50;
- Z-координата: $[DIM_HEIGHT]-500$ (высота -500).

Вычитаем созданный вырез. Результат показан на рис. 18.

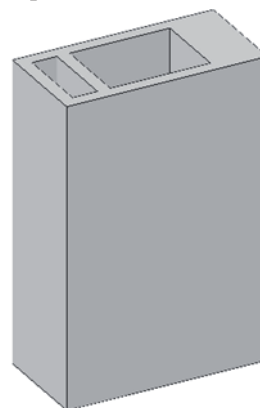


Рис. 18. Результат построения левого верхнего выреза

Правый верхний вырез

Создадим аналогичный вырез с правой стороны блока. Чтобы упростить создание элемента, воспользуемся командой *Копировать подобъект* на вертикальной панели Редактора параметрического оборудования (рис. 19).



Рис. 19. Команда *Копировать подобъект*

- Щелчком левой кнопки мыши выделяем *Вырез_верхний_крайний_Л*.
- Нажимаем кнопку *Копировать подобъект*.
- Переименовываем созданный примитив: присваиваем ему имя *Вырез_верхний_крайний_П*.
- Изменяем только X-координату базовой точки: X-координата: [DIM_LENGTH]-50-100, где 50 — это толщина стенки, 100 — длина выреза (в этом случае мы не можем просто указать какое-либо конечное значение координаты по X, так как длина блока может меняться и нам необходима привязка к габаритным размерам). Остальные координаты оставляем без изменений.
- Снимаем выделение с выреза и получаем результат, представленный на рис. 20.

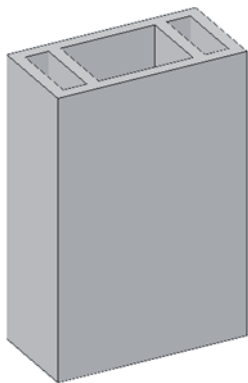


Рис. 20. Результат построения правого верхнего выреза

Создание внутренних вырезов

Приступим к созданию внутренних вырезов. Так как внутренний вырез имеет достаточно сложную геометрию (рис. 21), он будет состоять из нескольких примитивов.

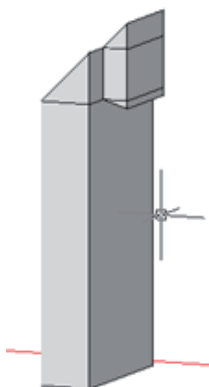
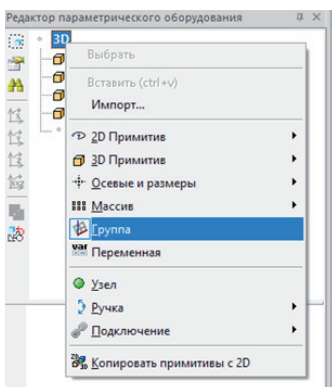


Рис. 21. Геометрия внутреннего выреза блока



Левый внутренний вырез

Чтобы не запутаться в большом количестве построенных примитивов, создадим группу объектов. Для этого ПКМ щелкаем на 3D после чего выбираем пункт *Группа* (рис. 22).

Рис. 22. Создание группы в Редакторе параметрического оборудования

По аналогии с примитивами группе также можно дать имя. Назовем созданную группу *Вырез_внутренний_Л*.

Для наполнения группы объектами есть два способа: первый — это переместить в группу уже созданные примитивы, а второй — создавать примитивы непосредственно внутри группы. Чтобы это сделать, щелкаем ПКМ на нашей группе и точно так же, как ранее в теле построения, добавляем необходимые нам примитивы.

Чтобы упростить построение, сделаем еще один шаг: изменим прозрачность уже построенных объектов. Для этого:

- переходим в панель *Свойства* платформы nanoCAD (рис. 23). Вызвать панель можно сочетанием клавиш *Ctrl+I*;
- выделяем в поле чертежа построенный нами блок;
- переходим в пункт *Прозрачность* и устанавливаем значение 70.

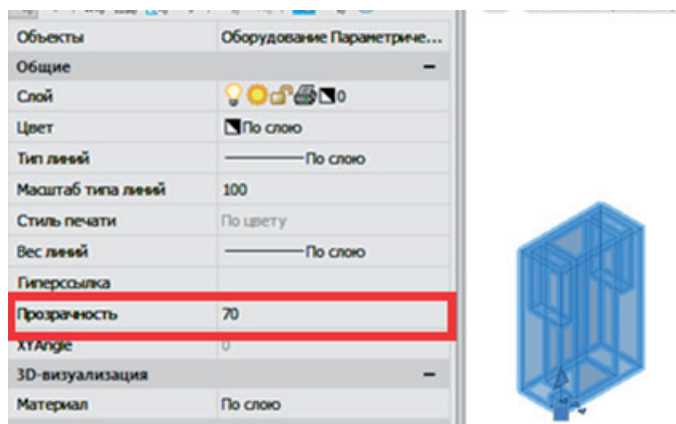


Рис. 23. Панель *Свойства* платформы nanoCAD

Далее возвращаемся в режим редактирования параметрического оборудования командой *Редактор параметрических элементов*, предварительно выделив необходимый объект.

Для создания внутреннего выреза:

- создаем внутри группы 3D-параллелепипед, это будет основное тело выреза;
- устанавливаем геометрические размеры:
 - высота: [DIM_HEIGHT]-650 (500 — высота верхнего выреза + 150 — расстояние между вырезами);
 - длина: 100;
 - ширина: [DIM_WIDTH]-100 (толщина стенки 50 мм x 2).

Что касается координат базовой точки, то при работе с группой есть два варианта. Первый — это, как и ранее, задавать для каждого создаваемого объекта свои координаты. Второй — задать координаты непосредственно элементу *Group*; таким образом, если позже нам понадобится изменить расположение данной "сборки" элементов, мы сможем это сделать только для группы, а не для каждого элемента в отдельности.

Выберем второй вариант и продолжим создавать геометрию выреза.

Следующим созданным примитивом будет "Клин". Щелкаем ПКМ по нашей группе, выбираем 3D-примитив *Клин*. Присваиваем ему имя *Клин1*.

В пространстве модели появился клин, однако для корректного расположения нам необходимо его повернуть.

Выполним поворот с помощью вертикальной панели инструментов и команд поворота по осям (рис. 24).

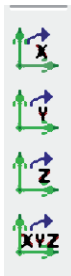


Рис. 24. Команды поворота на вертикальной панели инструментов

- В данном случае нам необходимо повернуть клин по оси Y на -90° (направление поворота задано по часовой стрелке). На вертикальной панели выбираем значок с координатой Y, перемещаем курсор в пространство чертежа либо в командную строку и вводим с клавиатуры значение -90 . Клин повернулся необходимым нам образом.
 - Зададим габаритные размеры согласно чертежу:
 - высота: 150;
 - длина: 150;
 - ширина: $[\text{DIM_WIDTH}]-100$.
 - Зададим координаты базовой точки:
 - X-координата: 150;
 - Y-координата: 0;
 - Z-координата: $[\text{DIM_HEIGHT}]-650$.
- Результат построения показан на рис. 25.

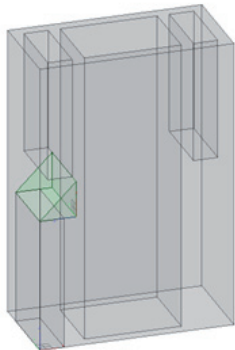


Рис. 25. Результат построения клина для внутреннего выреза

Следующим шагом создадим клин для нижнего скоса выреза.

- Уже знакомым нам образом создаем в группе новый клин.
- Называем его *Клин2*.
- Поворачиваем *Клин2* по оси Y на 180° .
- Задаем необходимые размеры:
 - высота: 15;
 - длина: 50;
 - ширина: 170.
- Координаты базовой точки:
 - X-координата: 150;
 - Y-координата: $[\text{DIM_WIDTH}]/2+85-50$ (так как нам важно, чтобы этот клин всегда располагался по центру блока, делим ширину блока пополам и вычитаем половину ширины клина (85), а затем толщину стенки (50));
 - Z-координата: $[\text{DIM_HEIGHT}]-650$.

Создадим клин, ограничивающий верх отверстия.

- Создаем в группе новый клин.
- Называем его *Клин3*.
- Поворачиваем *Клин3* по оси Y на -90° .
- Задаем габаритные размеры:
 - высота: 50;
 - длина: 50;
 - ширина: 170.

- Координаты базовой точки:
 - X-координата: 150;
 - Y-координата: $[\text{DIM_WIDTH}]/2+85-50$;
 - Z-координата: $[\text{DIM_HEIGHT}]-500-50$ (500 – высота верхнего выреза, 50 – высота клина).
- Результат построения представлен на рис. 26.

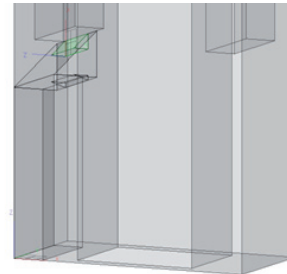


Рис. 26. Результат построения (1)

Создадим два бокса, которые будут ограничивать вырез, созданный самым первым клином.

- Создаем в группе новый бокс.
- Присваиваем ему имя *Бокс1*.
- Задаем габаритные размеры:
 - высота: 150;
 - длина: 50;
 - ширина: $[\text{DIM_WIDTH}]/2+85-50$.
- Координаты базовой точки:
 - X-координата: 100;
 - Y-координата: 0;
 - Z-координата: $[\text{DIM_HEIGHT}]-500-150$.
- Вычитаем созданный бокс.
- Создаем еще один бокс.
- Присваиваем ему имя *Бокс2*.
- Указываем габаритные размеры:
 - высота: 150;
 - длина: 50;
 - ширина: $[\text{DIM_WIDTH}]/2+85-50$.
- Координаты базовой точки:
 - X-координата: 100;
 - Y-координата: $[\text{DIM_WIDTH}]/2+85-50$;
 - Z-координата: $[\text{DIM_HEIGHT}]-500-150$.
- Вычитаем бокс.

Далее расположим всю группу в нужной позиции. Для этого в свойствах группы *Вырез_внутренний_Л* укажем координаты базовой точки (X-координата: 50, Y-координата: 50). И вычтем теперь уже всю группу, чтобы получить вырез в теле модели.

После вычитания группы элементы внутри поменяли свою "видимость". Те из них, что были телами, стали вырезами – и наоборот. Результат всех наших действий представлен на рис. 27.

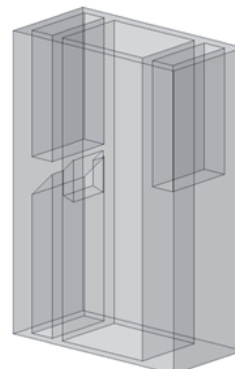


Рис. 27. Результат построения (2)

Правый внутренний вырез

Создадим с помощью кнопки *Копировать подобъект* второй внутренний вырез.

- Выделяем группу *Вырез_внутренний_Л*.
- Нажимаем кнопку *Копировать подобъект*.
- Присваиваем новой группе имя *Вырез_внутренний_П*.
- Для удобства построения меняем координату X для группы на 1200.
- Также для большей наглядности вычтем группу.
- Разворачиваем группу и выделяем *Клин1_1*.
- Поворачиваем *Клин1_1* по оси Y на 90°.
- Задаем координаты базовой точки:
X-координата: -50;
остальные координаты – без изменений.

Результат построения представлен на рис. 28.

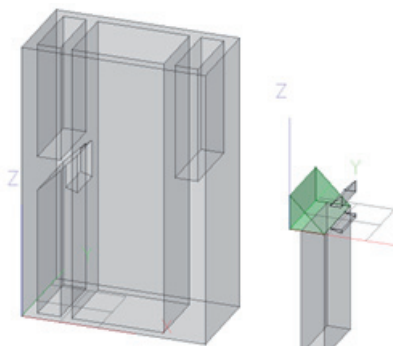


Рис. 28. Результат построения (3)

- Выделяем *Клин2_1* (для нижнего скоса выреза).
- Поворачиваем *Клин2_1* по оси Y на -90°.
- Изменяем размеры:
высота: 50;
длина: 15;
ширина: 170.
- Изменяем X-координату базовой точки:
X-координата: -50.
- Выделяем *Клин3_1*, ограничивающий верх отверстия.
- Поворачиваем *Клин3_1* по оси Y на 90°.
- Изменяем X-координату базовой точки:
X-координата: -50.

Результаты прохождения последних семи шагов представлены на рис. 29.

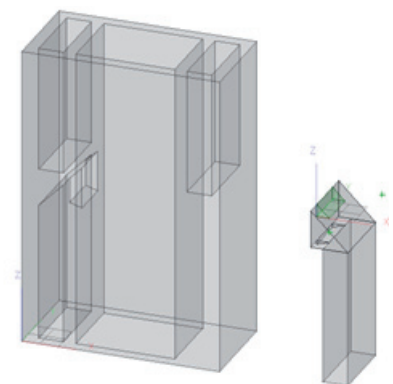


Рис. 29. Результат построения (4)

- Выделяем *Бокс1_1*.
- Изменяем X-координату базовой точки:
X-координата: -50.

- Выделяем *Бокс2_1*.
- Изменяем X-координату базовой точки:
X-координата: -50.

Результат построения показан на рис. 30.

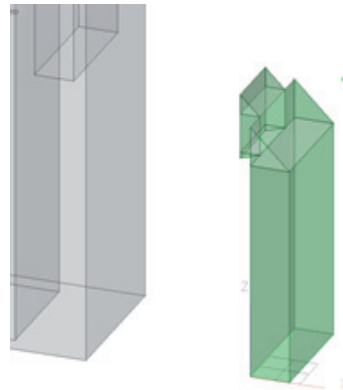


Рис. 30. Результат построения (5)

- Вычитаем всю группу.
- Изменяем X-координату базовой точки для группы:
X-координата: [DIM_LENGTH]-150.

Мы завершили создание внутренних вырезов блока. Получившийся результат представлен на рис. 31.

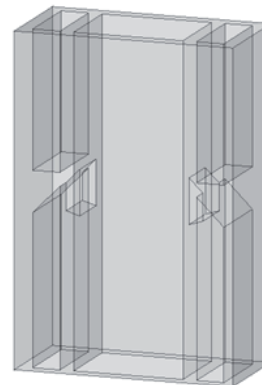


Рис. 31. Результат построения внутренних вырезов блока

Установим прозрачность вентиляционного блока по слою и перейдем к созданию наружных вырезов, необходимых для его установки.

Создание наружных вырезов

Левый вырез

- Создаем новую группу.
- Присваиваем новой группе имя *Вырез_наружный_Л*.
- Внутри группы создаем бокс:
высота: 200;
длина: 20;
ширина: 120.
- Создаем клин.
- Присваиваем ему имя *Клин_А*.
- Указываем размеры:
высота: 10;
длина: 20;
ширина: 120.

- Координаты базовой точки:
X-координата: 0;
Y-координата: 0;
Z-координата: 200.
- Создаем клин.
- Присваиваем ему имя *Клин_Б*.
- Поворачиваем *Клин_Б* по оси Y на 90°.
- Задаем размеры:
высота: 20;
длина: 10;
ширина: 120.
- Создаем клин.
- Присваиваем ему имя *Клин_В*.
- Поворачиваем *Клин_В* по оси X на -90°, а по оси Y на 180°.
- Задаем размеры:
высота: 10;
длина: 20;
ширина: 220.
- Координаты базовой точки:
X-координата: 20;
Y-координата: 10;
Z-координата: -10.
- Вычитаем объект.
- Создаем клин.
- Присваиваем ему имя *Клин_Г*.
- Поворачиваем *Клин_Г* по оси X на 90°, а по оси Z на -90°.
- Задаем размеры:
высота: 20;
длина: 10;
ширина: 220.
- Координаты базовой точки:
X-координата: 20;
Y-координата: 120;
Z-координата: -10.
- Вычитаем объект.
- Вычитаем группу *Вырез_наружный_Л*.
- Задаем координаты базовой точки группы:
X-координата: 0;
Y-координата: [DIM_WIDTH]/2-60;
Z-координата: [DIM_HEIGHT]-300.

Результат построения наружного выреза представлен на рис. 32.

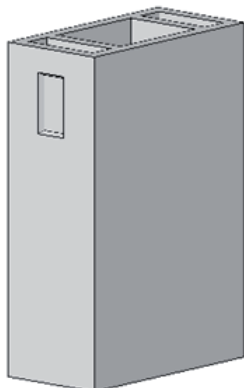


Рис. 32. Результат построения наружного выреза

Правый вырез

- Копируем *Вырез_наружный_Л* с помощью команды *Копировать подобъект*.

- Изменяем имя группы на *Вырез_наружный_П*.
- Для большей наглядности задаем X-координату базовой точки 1100.
- Раскрываем группу, выделяем *Клин_А1*.
- Поворачиваем *Клин_А1* по оси Y на -90°.
- Задаем размеры:
высота: 20;
длина: 10;
ширина: 120.
- Изменяем координаты базовой точки:
X-координата: 20.
- Выделяем *Клин_Б1*.
- Поворачиваем *Клин_Б1* по оси Y на 90°.
- Задаем размеры:
высота: 10;
длина: 20;
ширина: 120.
- Координаты базовой точки:
X-координата: 20;
Y-координата: 0;
Z-координата: 0.
- Выделяем *Клин_В1*.
- Поворачиваем *Клин_В1* по оси Z на -90°.
- Задаем размеры:
высота: 20;
длина: 10;
ширина: 220.
- Координаты базовой точки:
X-координата: 0.
- Выделяем *Клин_Г1*.
- Поворачиваем *Клин_Г1* по оси Z на 90°.
- Задаем размеры:
высота: 10;
длина: 20;
ширина: 220.
- Координаты базовой точки:
X-координата: 0;
Y-координата: 120;
Z-координата: -10.
- Изменяем только X-координату базовой точки группы *Вырез_наружный_П*:
X-координата: [DIM_LENGTH]-20.

Мы завершили создание параметризованной геометрии вентиляционного блока (рис. 33).

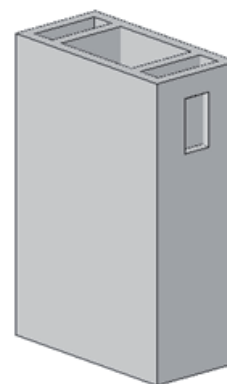


Рис. 33. Итоговая геометрия вентиляционного блока

Для проверки того, что мы всё сделали правильно и получили запараметризованный объект, изменим габаритные размеры

блока: укажем, например, длину 1000, высоту 1500 и ширину 600. Габаритные размеры блока изменились, однако внутренняя геометрия сохранила свои пропорции и расположение.

Создание "ручек" перемещения

Создадим пять "ручек" (рис. 34), которые будут расположены на нижней грани блока.

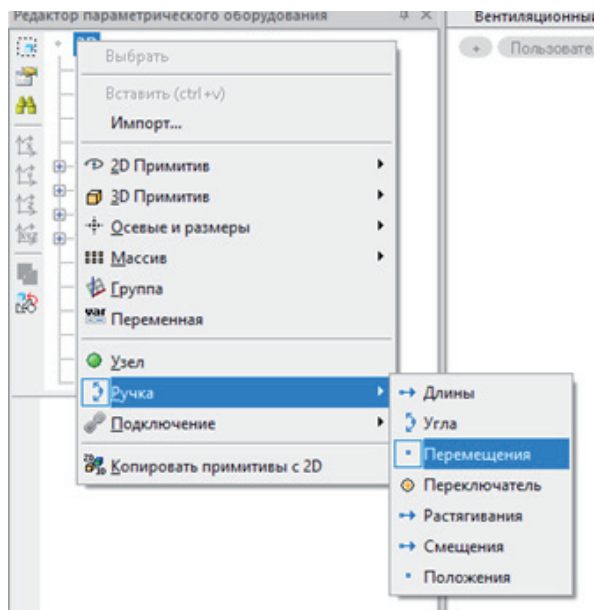


Рис. 34. Создание "ручек"

Укажем координаты базовой точки.

- Для первой "ручки":
X-координата: 0;
Y-координата: 0;
Z-координата: 0.
- Для второй "ручки":
X-координата: [DIM_LENGTH];
Y-координата: 0;
Z-координата: 0.
- Для третьей "ручки":
X-координата: 0;
Y-координата: [DIM_WIDTH];
Z-координата: 0.
- Для четвертой "ручки":
X-координата: [DIM_LENGTH];
Y-координата: [DIM_WIDTH];
Z-координата: 0.
- Для пятой "ручки":
X-координата: [DIM_LENGTH]/2;
Y-координата: [DIM_WIDTH]/2;
Z-координата: 0.

Мы создали "ручки" перемещения (рис. 35), с помощью которых в дальнейшем можно будет перемещать объект в поле чертежа.

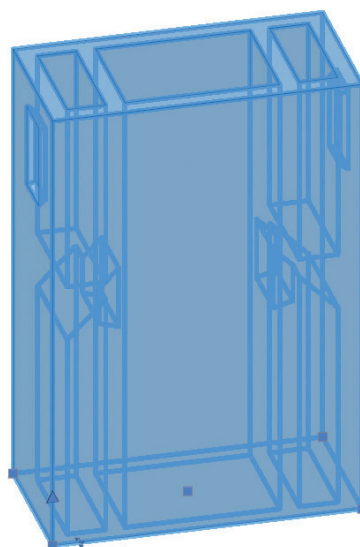


Рис. 35. Вентиляционный блок с "ручками" перемещения

При необходимости можно аналогичным образом создать другие виды "ручек".

Наш вентиляционный блок готов. Далее вы можете задать все необходимые свойства через левую вертикальную панель Редактора параметрического оборудования, а затем загрузить объект в библиотеку для дальнейшего использования.

Подведем итоги проделанной работы. Мы научились:

- работать с Редактором параметрического оборудования, создавать новый объект и редактировать имеющийся;
- создавать отдельные примитивы и их группы;
- поворачивать примитивы и размещать их в нужном месте;
- работать с Мастером функций для параметризации примитивов, групп и "ручек";
- задавать и изменять свойства параметрического объекта.

В дальнейшем вы можете использовать полученные навыки для самостоятельного создания более сложных параметрических объектов или для корректировки библиотечных элементов в соответствии со своими целями и задачами.

Также приглашаем вас делиться успехами, задавать вопросы и оставлять предложения на нашем форуме по адресу <https://forum.nanocad.ru>.



Татьяна Толстова
CSoft Development,
тестировщик,
отдел тестирования ПО



Bentley[®]
Advancing Infrastructure

➤ СОВМЕСТНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ CVB JV РЕАЛИЗУЕТ КРУПНЕЙШИЙ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ ПРОЕКТ ВОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Использование SYNCHRO™ 4D позволило сократить сроки строительства на 90 дней уже в первые два года.

Воссоединение Лондона с Темзой

Канализационная система Лондона, построенная в 1858 году, уже не способна отвечать запросам современного города, поэтому в Темзу ежегодно сбрасываются миллионы тонн неочищенных сточных вод. Чтобы удовлетворить потребности современного населения Лондона в 8,8 миллионов человек с учетом его дальнейшего роста, компания Tideway разработала проект "суперканализации" стоимостью 4 миллиарда фунтов стерлингов. Известный как "Thames Tideway Tunnel", он позволит не только модерни-

зировать старую канализационную систему, чтобы "перехватывать" сточные воды и очистить реку, но и гарантировать ее эффективное функционирование на протяжении более ста лет. Проект состоит из туннеля длиной 25 километров для "перехвата" и отведения стоков, который проходит через самое сердце Лондона на глубине от 30 до 70 метров. При этом будет применено гравитационное перемещение отходов в направлении с запада на восток. Ожидается, что строительство туннеля, разделенного на 24 участка, 11 из которых будут распола-

гаться вдоль берегов Темзы, завершится в 2024 году.

Проект состоит из трех блоков работ: для западной, центральной и восточной частей туннеля. У каждого блока есть ведущая площадка. Совместное предприятие Costain, VINCI Construction Grands Projets и Bachy Soletanche (CVB JV) отвечает за восточный блок. Стоимость контракта на работы по нему составляет 850 миллионов фунтов стерлингов. Блок включает в себя главный туннель, ведущий от Chambers Wharf до насосной станции Abbey Mills, и соеди-



Используя SYNCHRO 4D, предприятие CVB JV создало более 30 4D-моделей для анализа технологичности и оптимизации планирования строительства

нительный туннель от Гринвича до центральной части Лондона. Маршрут предусматривает 10 километров туннельных работ на глубине 70 метров под Лондоном, а также шесть шахт. В проекте задействованы специалисты 12 направлений, связанных с проектированием, не считая многочисленных цепочек поставок и других задействованных сторон. Это с неизбежностью предполагает возникновение проблем, связанных с координацией и коммуникацией. Для успешной организации строительства и управления им при сжатых сроках и небольших по размеру строительных площадках предприятие CVB JV сделало ставку на использование инновационных технологий. Это позволило, трансформировав традиционные методы строительства, "воссоединить" лондонцев с их рекой.

Конструирование на базе интегрированных технологий

Инновационный подход к реализации проекта Tideway, расширив границы традиционных способов работы, упростил процесс и помог повысить качество. Для этого были использованы интегрированные технологические приложения Bentley, которые обеспечили возможность управлять строительными работами на всех пяти площадках восточного участка с помощью 4D-моделирования. Проектная команда создала единую среду данных,

в основе которой лежало решение Bentley ProjectWise – единая платформа для координированного 3D-моделирования, обмена информацией и хранения данных.

"Использование ProjectWise – ключ к успеху при создании высококачествен-

Технология [Bentley] позволила сократить время проектирования, значительно сэкономить ресурсы, сделать совещания более продуктивными и избежать необходимости выполнения рутинных задач. Совместная работа, обеспечиваемая SYNCHRO 4D, стала ключом к привлечению клиентов, проектировщиков и производителей на ранних этапах процесса принятия решений».

Сандра Рейс (Sandra Reis), BIM-менеджер, Tideway

ных моделей", – заявил Лампрос Арванитис (Lampros Arvanitis), BIM-координатор CVB JV для восточной части Thames Tideway Tunnel. Работа в единой среде данных с использованием OpenBuildings Designer в качестве основ-

ного приложения для формирования 3D-моделей способствовала интеграции моделей цепочки поставок в различных форматах файлов с 4D-моделями, разработанными в SYNCHRO 4D. Функциональная совместимость SYNCHRO 4D позволила оптимизировать этот инновационный рабочий процесс: 3D-модель, объединенная с графиком строительства, стала цифровым 4D-планом, наглядно демонстрирующим изменения проекта с течением времени.

Использование SYNCHRO 4D обеспечило CVB JV возможность создать более 30 4D-моделей для анализа технологичности и оптимизации планирования строительства. Этот программный продукт позволил рабочим командам открывать и объединять модели при совместной работе инженеров, проектировщиков и строителей. Такой подход помог выявить, предупредить и урегулировать непредвиденные риски. Решение для 4D-моделирования оптимизировало проектирование, позволив создать различные сценарии строительства вентиляционной камеры Chambers Wharf, расположенной в юго-восточной части Лондона. При формировании сценариев были учтены затрудненность доступа, условия выхода и ограниченность пространства. Аналогичным образом на площадке в Гринвиче, где Доклендское легкое метро пересекает строительную площадку, команда проанализировала различные схемы для выявления потенциальных рисков и принятия решений. Этот анализ позволил определить оптимальное строительное решение. Совместное предприятие CVB JV реализовало цифровые рабочие процессы в режиме 4D в единой среде данных, что, в свою очередь, позволило создать наиболее безопасный, надежный и устойчивый проект туннеля – Thames Tideway East Tunnel.

Совместное планирование в режиме 4D оптимизирует строительный процесс

"Мы не пытаемся совершенствовать модель, а стремимся сразу сделать ее оптимальной", – объяснил Лампрос Арванитис. Чтобы получать гарантированно корректную проектную документацию, предприятие CVB JV интегрировало 4D-моделирование с принципами "бережного" строительства. Это позволило организовать процесс совместного 4D-проектирования, который предусматривает регулярную проверку

4D-моделей специалистами всех направлений за три недели до запланированного проведения работ. Такой подход обеспечил участникам команды возможность детально обсудить все аспекты проектирования и своевременно внести в него необходимые коррективы.

Интегрированная платформа для моделирования Bentley обеспечивает цифровую среду для совместного 4D-проектирования, позволяющую минимизировать затраты. Оптимизации рабочих процессов и планирования строительства способствует учет всех ограничений, связанных с требованиями, предъявляемыми к стандартам проектирования, экологии, охраны труда, техники безопасности и логистики. Обновленные комплексные 4D-модели позволяют генеральному подрядчику и профильным субподрядчикам следить за проводимыми работами в режиме реального времени и своевременно вносить в них уточнения.

Во время стартовой встречи специалисты CVB JV и Network Rail проанализировали с помощью 4D-модели все аспекты предстоящего строительства и приняли оптимальное решение для его реализации. В результате время проведения отдельных этапов работ было сокращено на 50%.

Решение SYNCHRO 4D позволяет экономить средства

Использование SYNCHRO 4D для 4D-моделирования строительства значительно улучшило интеграцию проекта и упростило цифровое планирование, что позволило в кратчайшие сроки утвердить программу строительства Tideway. Работа с моделями в единой среде данных с применением методологии "бережного" строительства обеспечила возможность оптимизировать совместную работу, повысить производительность и достичь существенной экономии времени и средств. Лампрос Арванитис заявил: "За два года строительства мы сэкономили более 90 дней, что равнозначно 300 000 фунтов стерлингов прямой экономии и более чем 1 миллиону фунтов косвенной". Включенные скриншоты 4D-моделей в отчеты по методу оценки рисков позволило сэкономить 20% времени на подготовку отчетов, сократило размер документов на 30%, упростило проверку для клиентов и оптимизировало оперативную оценку площадки, упорядочив процесс согласования и последовательность строительных работ.

Строительные модели, созданные в SYNCHRO 4D, применялись также при взаимодействии с местными жите-

лями, общественными группами и советами, которые не разбираются в традиционных технических чертежах и отчетах. Например, когда администрация лондонского порта выступила против работ в акватории, необходимых для строительства туннеля, специалисты CVB JV с помощью SYNCHRO 4D всего за три дня создали 4D-модель и в рамках одной встречи наглядно продемонстрировали масштаб дноуглубительных работ. По сравнению с исходными 2D-чертежами 4D-модели значительно упростили взаимопонимание между сторонами. Именно благодаря им удалось оперативно получить разрешение на продолжение работ и не допустить 30-дневной задержки строительства. "Модель SYNCHRO 4D позволила наглядно представить администрации лондонского порта каждый аспект преобразований и убедить ее в необходимости проведения работ", — заявил Росс Эдгар (Ross Edgar), инженер проекта CVB JV по работам в акватории.

Стремление к цифровому развитию отрасли

Работа в единой среде данных с использованием 4D-моделирования оптимизировала ход строительства и реализацию проектов развития благодаря цифровизации совместной работы. Сегодня CVB JV изучает возможности использования SYNCHRO 4D для дальнейшего внедрения 4D-технологии и оптимизации коммуникаций между строительными площадками и офисами. Облачный цифровой процесс обеспечит одновременный доступ к 4D-модели для группы сотрудников и, как ожидается, сократит ручную работу для каждого участка на 50% в ходе реализации оставшейся части проекта.

Внедрение 4D-технологии в проект Thames Tideway East Tunnel не оставило места традиционным методам работы и внесло существенный вклад в более широкую цифровизацию строительных площадок. Совместное проектирование посредством 4D-моделирования стало ключом к оптимизации рабочих процессов всех участников и заинтересованных сторон проекта, ускорив и оптимизировав процесс принятия решений для наиболее безопасного и устойчивого проекта строительства "суперканализации". Предприятие CVB JV намерено и в дальнейшем внедрять инновационные передовые практики в строительной отрасли.

*По материалам компании
Bentley Systems*

Краткое описание проекта

Организация

Совместное предприятие Costain, VINCI Construction Grands Projets и Bachy Soletanche (CVB JV)

Решение

4D-моделирование в строительстве

Местоположение

Лондон, Великобритания

Цели проекта

- Расширение границ традиционных методов строительства, безопасная реализация проекта устойчивой канализационной системы и предотвращение загрязнения Темзы.
- Внедрение 4D-моделирования для упрощения рабочих процессов, улучшения понимания и оптимизации процесса принятия решений.

ПО, использовавшееся в проекте

OpenBuildings™ Designer, ProjectWise®, SYNCHRO 4D

Основные факты

- Совместное предприятие CVB JV создало единую среду данных и внедрило 4D-моделирование в проекте Thames Tideway East Tunnel стоимостью 850 млн фунтов стерлингов.
- ПО SYNCHRO 4D помогло создать более 30 цифровых 4D строительных моделей на пяти участках, оптимизировав мероприятия по планированию строительства и улучшив отслеживание и управление ходом работ.
- Команда упростила совместное планирование в 4D-режиме для оптимизации работ на строительных площадках.

Рентабельность инвестиций

- Использование 4D-моделирования позволило сократить сроки строительства более чем на 90 дней за два года и сэкономить 1 млн фунтов стерлингов.
- Благодаря совместному проектированию в 4D-режиме и цифровым рабочим процессам CVB JV удалось избежать необходимости работы в ночное время при сокращении программы строительства на 50%.
- В рамках оставшейся части проекта "суперканализации" CVB JV тестирует использование SYNCHRO 4D, которое, как ожидается, сократит ручную работу на 50% на каждой строительной площадке.



УТИЛИТЫ nanoCAD СПДС. НАЙТИ И ЗАМЕНИТЬ ТЕКСТ

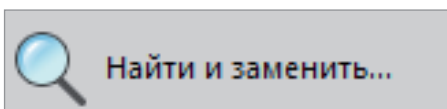


Рис. 1. Иконка утилиты *Найти и заменить*

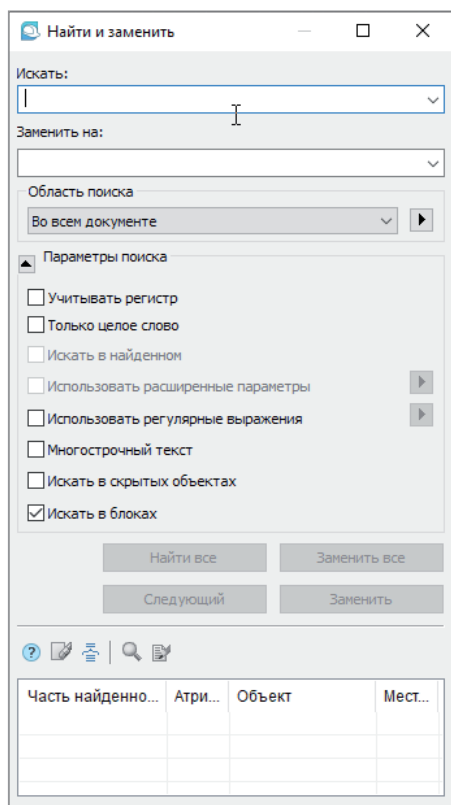


Рис. 2. Диалоговое окно *Найти и заменить*

Нередко возникают ситуации, когда в чертеже нужно найти и заменить то или иное слово. В nanoCAD с модулем СПДС для решения такой задачи предусмотрена утилита *Найти и заменить* (*SPFIND*, *FIND*, *ПОИСК*). Этот инструмент используется для поиска и замены строковых значений в объектах чертежа.

В ленточном интерфейсе команду можно найти во вкладке *СПДС* → *Утилиты* → *Найти и заменить* (рис. 1). В классическом к ней ведет такой же путь.

Рабочее сочетание клавиш для этой команды: *Ctrl+F*.

После вызова утилиты *Найти и заменить* откроется одноименное диалоговое окно (рис. 2).

Первые две строки, *Искать* и *Заменить на*, похожи на инструменты навигации в привычных нам текстовых и табличных редакторах.

Рабочее пространство САПР-системы бесконечно, информации в нем может содержаться великое множество. Поэтому, чтобы поиск осуществлялся быстро, в строке *Область поиска* можно ввести

ограничение (во всем документе, в текущем листе или наборе) либо задать конкретные объекты, содержащие строковый атрибут.

Точно представляете себе искомую строку? Отрегулируйте параметры поиска. Если нет, сверните этот раздел.

Результаты поиска отображаются в нижней части диалогового окна.

Давайте рассмотрим пару примеров применения этой утилиты.

Пример 1. Поиск текстовой строки в чертеже

Исходные данные: файл с огромной спецификацией оборудования, изделий и материалов (рис. 3).

Задание: изменить в спецификации количество кабельных разъемов.

Работать с большой спецификацией "вручную" трудоемко, к тому же существует высокая вероятность что-то недоглядеть. Тут нам и пригодится утилита *Найти и заменить*.

Вызываем команду *Найти и заменить*, в строке *Искать* вводим слова *Кабельный разъем* и нажимаем кнопку *Найти все*.



Рис. 3. Исходные данные: большая спецификация оборудования, изделий и материалов

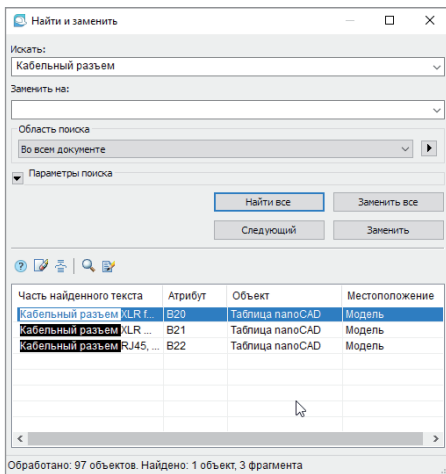


Рис. 4. Результаты поиска по запросу "Кабельный разъем"

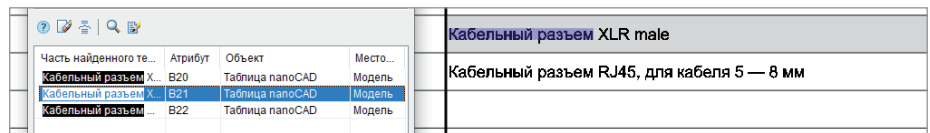


Рис. 5. Отображение результатов поиска на чертеже

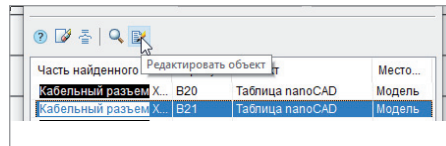


Рис. 6. Местоположение кнопки *Редактировать объект* в диалоговом окне *Найти и заменить*

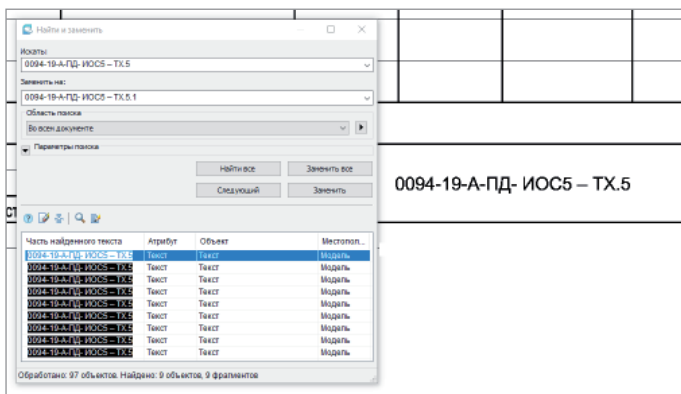


Рис. 7. Результаты поиска текстовой строки

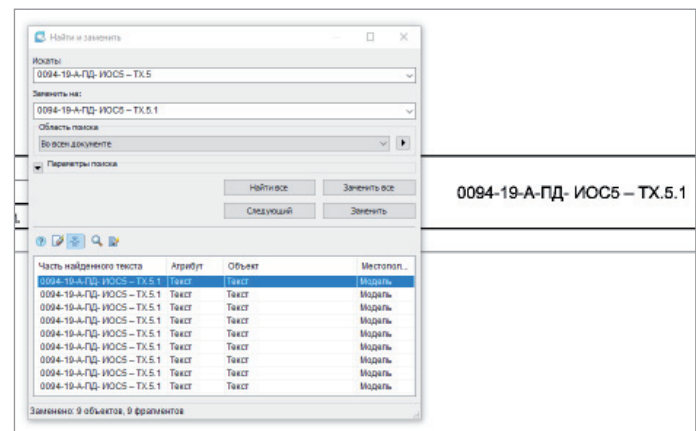


Рис. 8. Замена значений текстовой строки во всем документе

Утилита обработала 97 объектов и нашла три фрагмента, содержащих в себе словосочетание "Кабельный разъем". Из таблицы результатов поиска видно, что искомое словосочетание находится в объекте "Таблица папоCAD", местоположение "Модель" (рис. 4). Дважды щелкнем по строке с результатом поиска – папоCAD зуммирует чертеж и подсвечивает искомый фрагмент (рис. 5). Нажмем кнопку *Редактировать объект* (рис. 6). Словосочетание "Кабельный разъем" находится в папо-таблицах – следовательно, откроется табличный редактор. После внесения всех правок и закрытия табличного редактора можно вернуться в диалоговое окно *Найти и заменить*. По-моему, мы справились с заданием быстро и без лишних хлопот!

Пример 2. Замена текста в строке

Мой опыт работы в проектом институте убедил меня, что один из самых "изменяемых" текстов чертежа находится в основной надписи (штампе). Нередко приходилось менять фамилии, даты, шифры и т.п. Дело это рутинное, неблагоприятное и обязательное. Сделаем этот процесс менее болезненным с помощью утилиты *Найти и заменить*. Допустим, в той же огромной спецификации необходимо на каждом листе изменить шифр проекта. Вызываем диалоговое окно утилиты, в строке *Искать* указываем существующий шифр, а в строке *Заменить на* – тот, на который будем менять. Жмем кнопку *Найти все* (рис. 7). По результатам поиска видим все объекты, которые содержат в себе искомый шифр. Нажимаем кнопку *Заменить все*. Во всех объектах чертежа произошла замена, причем переход в режим редактирования текста не потребовался (рис. 8).

Заключение

Утилита *Найти и заменить* проста в освоении, диалоговое окно интуитивно понятно, а функционал этого инструмента делает работу с объектами, содержащими текст (строковый атрибут), более комфортной и быстрой. Делитесь своим опытом работы в отечественной САПР, обсуждайте существующий функционал и предлагайте новый на форуме папоCAD¹. В течение 30 дней вы можете бесплатно протестировать достойную альтернативу зарубежным САПР. Переходите по ссылке² и скачивайте папоCAD Pro с максимальным количеством модулей и возможностей.

Татьяна Васкина,
технический специалист
АО "Нанософт"
E-mail: vaskina@nanocad.ru



¹ <https://forum.nanocad.ru/?ct=1593538448>.

² <https://www.nanocad.ru/products/nanocad-pro/download>.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛАМИ

3D-печать металлами получает все более широкое признание и все активнее внедряется в самых разных отраслях промышленности. Аддитивные технологии позволяют без дорогостоящей оснастки изготавливать сложные металлические детали с превосходными механическими свойствами и устраняют ограничения традиционного субтрактивного производства, связанные с проектированием. При такой свободе проектирования часто становится возможным объединить несколько деталей в одну, при этом уменьшив ее общий размер и вес. Возможность производить

детали за несколько дней, а не недель или месяцев, позволяет инженерам сокращать число итераций, быстрее получать оптимизированное изделие и, следовательно, выводить на рынок превосходную продукцию за меньшее время. Тем не менее, по мере того как все больше компаний стремятся извлечь выгоду из этих технологических преимуществ, возникают вопросы касательно создания производственных объектов для обеспечения безопасности пользователей и поддержания высокой производительности. Как именно лучше всего подготовить ваш объект, будет зависеть от его уникальных характеристик, решаемых

задач, рабочей нагрузки, наличия ресурсов, местных нормативных актов и от того, какие услуги лучше при необходимости отдавать на аутсорс.

Эта статья представляет собой сокращенную версию экспертного материала¹, в котором затрагиваются следующие темы:

- вопросы безопасности;
- экологические факторы;
- требования к объекту;
- дополнительное оборудование;
- оборудование для постобработки;
- необходимые средства информатизации;
- предотвращение взаимного загрязнения.

¹ Бесплатно скачать этот материал вы можете по ссылке <https://promo.iqb.ru/slm-preparing-process-and-facility>.



Вопросы безопасности

В процессе селективного лазерного плавления (SLM) используются мелкодисперсные порошки, которые могут содержать частицы размером до 10 микрон. Эти порошки могут быть опасны для здоровья. Когда дверцы машины открыты или при иных манипуляциях с порошком операторы должны носить средства индивидуальной защиты (СИЗ). Как правило, к этим средствам относятся полнолицевой респиратор или автономный респиратор для подачи очищенного воздуха, непроницаемые для порошка защитные перчатки, антистатические ботинки с металлическим подноском и защита для рук, включая одноразовые защитные приспособления и лабораторный халат.

Чтобы предотвратить распространение металлического порошка по всему объекту, необходимо соблюдать меры предосторожности. Доступ в производственные помещения должны ограничивать либо замки, либо знаки, особенно в процессе работы с металлическим порошком. Липкие коврики на выходах

помогают предотвратить перенос остатков порошка на обуви в другие помещения.

Сплавы, используемые в аддитивном производстве, различаются по своему воздействию на окружающую среду, поэтому следует учитывать конкретные характеристики материалов, используемых на объекте. Если применяются химически активные материалы, такие как алюминий или титан, опасность, связанная с применением порошка, усиливается из-за возможного пожара или взрыва. Важно обеспечить отсутствие источника воспламенения, поэтому в зоне работы с порошком не должно быть открытого огня или горячих поверхностей. Наибольшее беспокойство, как правило, вызывает статическое электричество, и этот риск можно уменьшить с помощью специальных напольных покрытий, ковров и обуви для предотвращения электростатического разряда.

Лазерное плавление металлического порошка всегда должно проводиться в атмосфере инертного газа — как правило, аргона. В помещении, где используется

аддитивная установка, должны быть предусмотрены сигнализация низкого уровня кислорода и достаточно мощные системы кондиционирования и вентиляции на случай утечки аргона.

Экологические факторы

При аддитивном производстве металлических изделий образуются порошковые и жидкие отходы, поэтому правильная утилизация этих материалов — серьезная задача. Как только построение изделия завершено, остатки порошка должны быть удалены из машины. Обычно первым шагом является очистка щеткой или пылесосом, при этом как можно большее количество порошка следует переместить из камеры построения в специальную емкость для остатков порошка с целью их повторного использования. Для протирания следов порошка можно использовать ткань без ворса. Затем для удаления остатков металлического порошка из машины используется пылесос с мокрым золоуловителем. Столб воды в таком пылесосе пассивирует металлический порошок, делая его негорючим



Обеспечение безопасности на входе: знаки и липкие коврики предотвращают загрязнение порошком за пределами рабочей зоны



Удаление порошка из SLM-машины



Зона постобработки с печью, столом с вытяжкой и дробеструйной камерой

и упрощая процесс утилизации. С использованием тех же методов рассеивающиеся частицы порошка должны быть удалены со средств индивидуальной защиты, оборудования для постобработки и из любого места, где они могут осесть. К дополнительным источникам сухих отходов относятся салфетки и любые другие одноразовые материалы, подвергшиеся воздействию порошка. Липкие коврики следует размещать на полу рядом с выходами из помещений, где используется порошок, чтобы предотвратить его попадание на подошвах обуви за пределы помещения.

Большинство предприятий заключают контракты с компаниями, занимающимися утилизацией промышленных отходов, на сбор и утилизацию как жидких, так и твердых отходов. Уделив особое внимание минимизации образования отходов, вы сможете снизить затраты на утилизацию. Например, сбор как можно большего количества порошка в специальную емкость аддитивной установки после завершения построения уменьшит объем образующихся отходов.

Требования к объекту

Основные ресурсы на объекте, необходимые для аддитивного производства, включают в себя контроль температуры и влажности, надежное электропитание, сжатый воздух, инертный газ, чистую среду и контролируемый доступ. Большинство 3D-принтеров на базе SLM-технологии используют 400-вольтное трехфазное питание и снабжены трансформатором, который увеличивает или понижает мощность до 400 вольт. Ста-

бильный источник питания важен, поскольку потеря питания в процессе построения может привести не только к простоям оборудования, но и к полной потере объекта, который вы печатаете. В некоторых случаях стоит вложить средства в источник бесперебойного питания и резервный источник питания. Машине также требуется подача чистого и сухого сжатого воздуха. Аргон или азот можно приобрести у местного поставщика в баллонах многократного использования.

Системы SLM не требуют стерильных условий, но им нужна относительно чистая рабочая среда для предотвращения загрязнения лазерной оптики. Офисные условия не подходят, поскольку будет присутствовать порошок и находящиеся поблизости люди должны носить СИЗ, когда машина открыта. По этой причине помещение, в котором используется система, должно быть запечатано, когда дверцы машины открыты. Температуру в комнате следует поддерживать в диапазоне от 20 до 25 °С. Относительная влажность должна оставаться в пределах 40-60%, так как слишком высокая влажность препятствует хорошей текучести порошка, а слишком низкая увеличивает риск образования искр.

Для оборудования для постобработки (ленточная пила, многоцелевой станок и т.д.) также желательно выделить отдельное помещение. Это, разумеется, предполагает, что постобработка выполняется собственными силами, а не отдается на аутсорс. Кроме того, необходима зона проведения "грязных" этапов процесса, таких как замена фильтров, очист-

ка мокрых золоуловителей и заполняющих фильтров.

Дополнительное оборудование

Производство с применением 3D-печати металлами требует дополнительного оборудования для поддержки процесса печати, включая внешний охладитель и просеиватель порошка. Охладитель, необходимый для охлаждения лазера и оптики, часто помещается в отдельное помещение, поскольку он производит шум, тепло и влажность. Охлажденная вода подается в установку селективного лазерного плавления, причем существуют особые требования к минимальному размеру и максимальной высоте подъема соответствующих труб. Просеиватель используется для обработки нерасплавленного порошка после каждого построения, отделяя мелкие частицы, которые затем могут быть повторно использованы, от более крупных частиц и загрязняющих примесей, которые обычно утилизируются.

Заключение

Популярность 3D-печати металлами и ее применение в различных отраслях продолжают расти благодаря способности этой технологии ускорять внедрение инноваций. Она значительно экономит время, необходимое для создания и тестирования новой продукции. Аддитивное производство металлических изделий также дает инженерам беспрецедентную свободу проектирования и снижает потребность в дорогостоящих инструментах.

В этой статье рассмотрены лишь некоторые из основных вопросов, связанных с подготовкой вашего объекта для безопасного и эффективного производства высококачественных металлических деталей. Материал такого объема не позволяет учесть все возможные варианты внедрения, поэтому просим вас обратиться к экспертам компании iQB Technologies, официального дистрибьютора SLM Solutions в России, чтобы более подробно разобраться в конкретных вопросах, связанных с внедрением 3D-печати металлами на вашем предприятии.

Алексей Чехович
CSD

Опубликовано:

<https://blog.iqb.ru/slm-preparing-process-and-facility>

Océ PlotWave 345

Océ PlotWave 365

производство

архитектура

машиностроение

строительство

**ШИРОКОФОРМАТНЫЕ
ПРИНТЕРЫ, СПЕЦИАЛЬНО
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ
ПРИЛОЖЕНИЙ САПР,
РАБОТАЮЩИХ В СФЕРАХ
ПРОИЗВОДСТВА, АРХИТЕКТУРЫ,
МАШИНОСТРОЕНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА.**



Монохромные принтеры или multifункциональные устройства Océ PlotWave 345 и Océ PlotWave 365 позволяют надежно, просто и экономически эффективно создавать высококачественные, устойчивые к внешнему воздействию технические документы, благодаря чему пользователи могут уделять все свое внимание основной работе.



Фирма ЛИР®

Москва, Варшавское шоссе, д. 33

Тел.: +7 (495) 363-67-90,

8 (800) 200-67-90 (бесплатно для регионов России)

www.ler.ru

nanoCAD Pro

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОСИСТЕМА

nanoCAD Pro – топовая комплектация инженерной экосистемы nanoCAD. Подходит организациям, которые осуществляют комплексный переход на российскую САПР. В состав входят классические инструменты черчения, nanoCAD СПДС, nanoCAD Механика, модули «3D-моделирование и зависимости», «Растровое редактирование», инструменты по работе с данными трехмерного сканирования и уникальный сервис для управления настройками САПР «Корпоративное управление».

Скачайте или закажите демонстрацию

20.nanocad.ru

