

# Обзор модуля *Magics Simulation*: как предотвратить риски при 3D-печати металлами

Григорий Аватинян

©2020 iQB Technologies



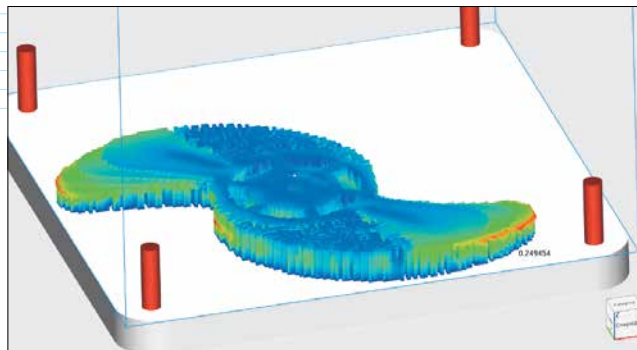
Модуль *Materialise Magics Simulation* предназначен для предсказания дефектов и отклонений в процессе аддитивного производства изделий методом селективного лазерного плавления (SLM).

Работа модуля основана на численном моделировании температурного поля, напряжений и деформаций, возникающих в каждом слое при построении изделия вследствие высокотемпературного процесса плавления металлических материалов, имеющих различные прочностные свойства и коэффициент температурного расширения.

*Magics Simulation* позволяет заранее оценить риски при будущей 3D-печати, определив критически важные особенности процесса построения детали на SLM-машине, чтобы можно было откорректировать положение и пространственную ориентацию объекта на платформе, а также отредактировать поддерживающие структуры при подготовке задания на печать (рис. 1). Кроме того, опираясь на результаты моделирования деформаций, модуль генерирует STL-модель детали с предкомпенсирующими искажениями геометрии, что позволяет повысить точность построения.

За счет анализа поля внутренних напряжений возможно предсказать деформацию детали при её механической постобработке, когда снимается слой материала и происходит релаксация напряжений. Это позволяет снизить риски при построении, уменьшить припуски на обработку, время построения и процент брака, что с большой вероятностью принесет и экономическую выгоду.

Еще один пример применения *Simulation* – это задачи, стоящие перед аддитивным SLM-производством при выполнении различных НИОКР, когда изготавливаемые послойным сплавлением



изделия могут иметь необычные формы поверхностей и конструктивные особенности. Кроме того, может применяться новый порошковый металлический материал, особенности поведения которого при послойном сплавлении еще не изучены.

Неполадки и отказы при построении изделий на SLM-машинах и распределение их в процентном отношении по количеству случаев приведены на рис. 2. Модуль *Simulation* дает возможность предсказывать четыре риска, которые встречаются наиболее часто.

Что касается экономических показателей, пример операционных расходов на аддитивное производство на установке 3D-печати металлами приведен на рис. 3.

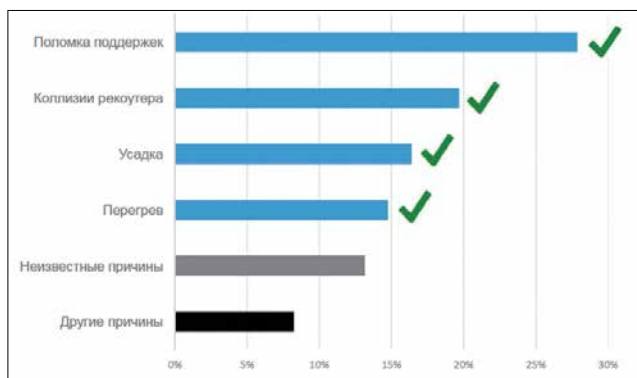


Рис. 2. Виды рисков и отказов при построении изделий на SLM-машинах и частота их появления

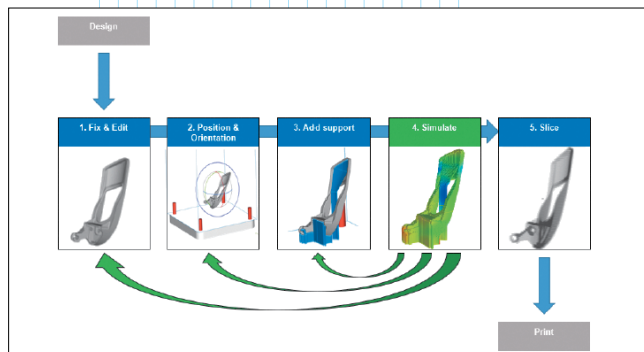


Рис. 1. Блок-схема рабочего процесса с участием модуля *Simulation*



Рис. 3. Операционные расходы при производстве изделий на SLM-машине

Модуль *Simulation* устанавливается отдельно – как плагин, встраиваемый в программное обеспечение *Materialise Magics*. После установки он инициализируется при следующем запуске *Magics*, и появляется вкладка инструментов “Симуляция”.

## Основные группы функций во вкладке модуля *Simulation*

### 1 Инструменты калибровки симуляции

#### ✓ Подготовить калибровочную платформу

Проводится подготовка платформы с калибровочными образцами, расположенными по трем осям с шагом 45 градусов для их построения.

Подготовка платформы с образцами выполняется одним нажатием соответствующей кнопки (рис. 4). Для калибровки модуля симуляции на каждый материал требуется, после построения образцов из него, разрезать их в горизонтальной плоскости и измерить деформацию, как показано на рис. 5.

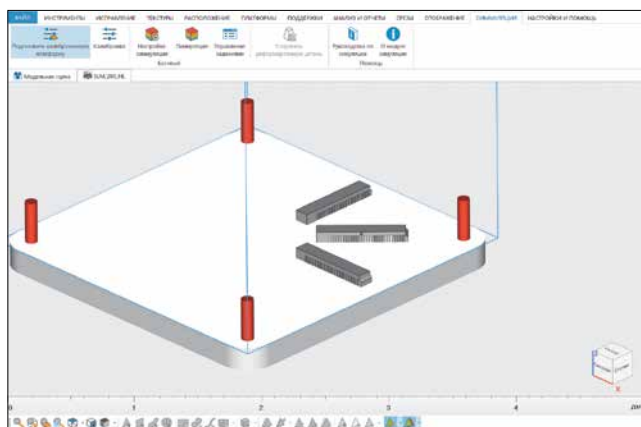


Рис. 4. Подготовка платформы с калибровочными образцами

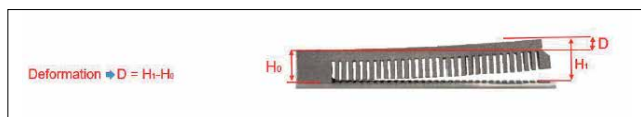


Рис. 5. Обработка и измерение деформации калибровочных образцов

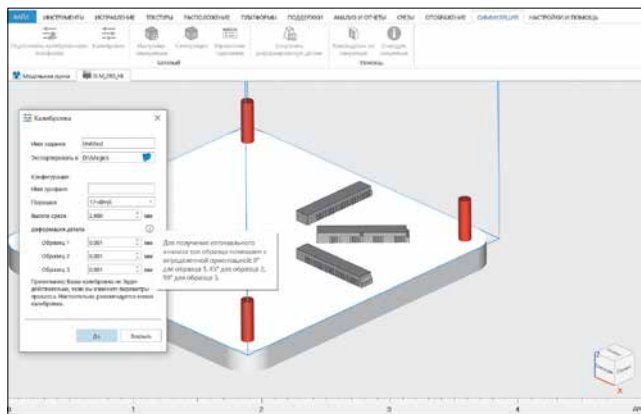


Рис. 6. Калибровка профиля материала

#### ✓ Калибровка

При нажатии кнопки “Калибровка” осуществляется ввод полученных в результате эксперимента по калибровке деформаций образцов в профиль испытываемого порошкового металлического материала (рис. 6).

### 2 Настройка симуляции, запуск и управление задачами

После размещения детали на платформе 3D-принтера и генерации поддержек можно приступить к работе с модулем *Simulation*.

#### ✓ Настройка симуляции

Осуществляется ввод необходимых для расчета параметров термической и механической симуляции.

Для механической симуляции: выбор профиля материала (калибровка которого была рассмотрена выше), имени материала, типа порошкового материала, собственных относительных деформаций материала по осям X, Y, Z по информации от его производителя.

Для термической симуляции: выбор профиля материала, имени материала, типа порошкового материала, оптической мощности лазерного пучка, скорости линейного перемещения пятна излучения лазера, диаметра пятна на поверхности слоя, коэффициента полезного действия лазерного пучка, толщины слоя порошка, времени работы механизма выравнивающего валика.

Диалоговые окна с настройками параметров показаны на рис. 7.

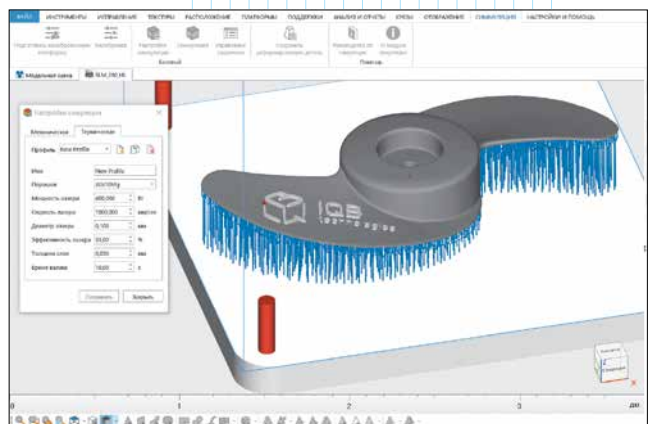
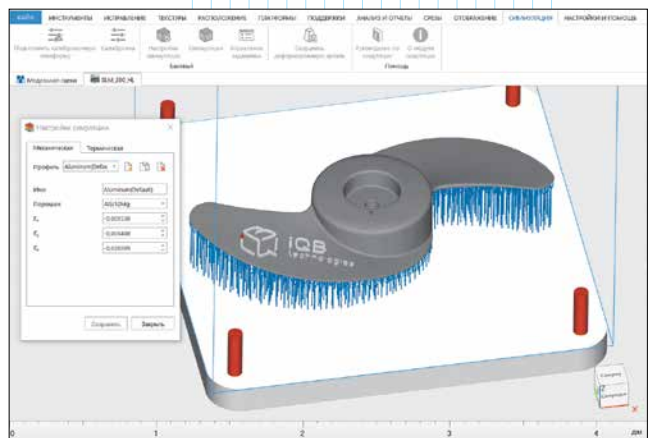


Рис. 7. Настройка симуляции

### ✓ **Симуляция**

Осуществляется подготовка задания на симуляцию, выбор параметров разбиения детали вместе с поддержками на конечные элементы – ячейки (воксели) для построения прямоугольной равномерной расчетной сетки (рис. 8).

Количество ячеек в сетке линейно напрямую связано с продолжительностью расчета задания на симуляцию.

Здесь вводится имя задания, директория проекта, выбирается тип симуляции, профили материалов, высота и температура опорной плиты SLM-машины, размер ячейки расчетной сетки по всем осям либо единый размер для всех сторон ячейки (то есть кубической ячейки). Имеется кнопка предпросмотра разбиения области на расчетную сетку из ячеек.

### ✓ **Управление заданиями**

Эта функция вызывает окно менеджера заданий, предназначенного для запуска заданий в очереди, отслеживания процесса выполнения и загрузки данных уже выполненных заданий (рис. 9).

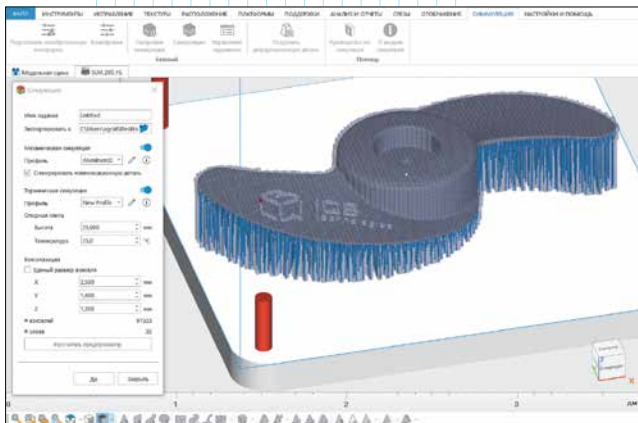


Рис. 8. Подготовка задания на симуляцию – с предпросмотром разбиения детали с поддержками на ячейки расчетной сетки

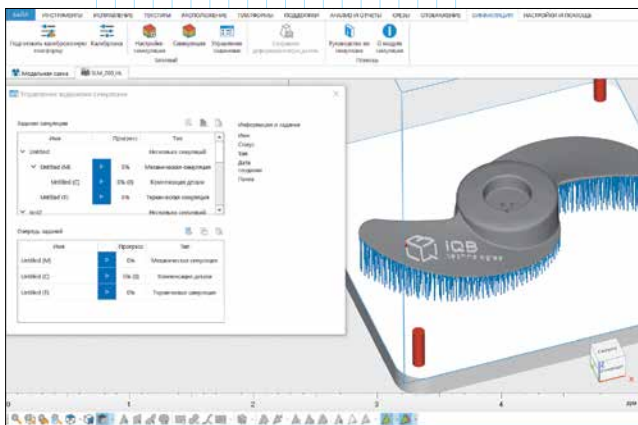


Рис. 9. Менеджер заданий на симуляцию с выполненными (вверху) и назначенными (внизу) заданиями

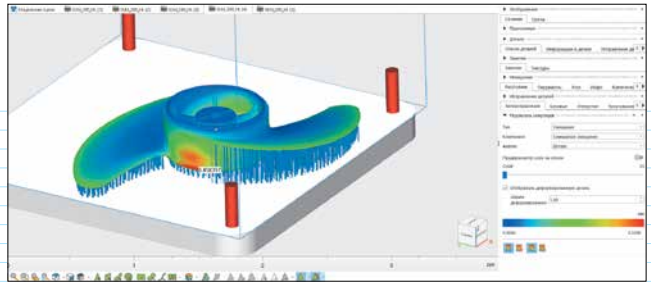


Рис. 10. Отображение итоговых результатов симуляции (в данном случае – результирующих линейных деформаций)

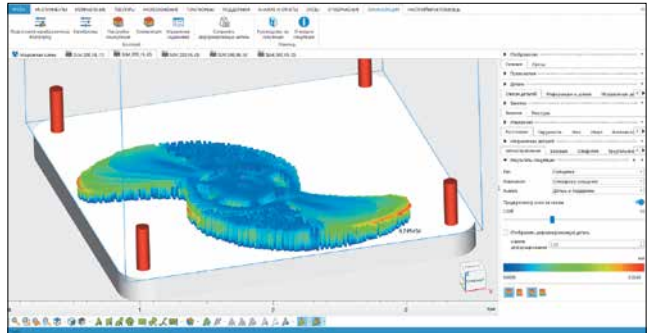


Рис. 11. Послойная цветовая карта (в данном случае – результирующих линейных деформаций)

### 3 **Сохранить деформированную деталь**

Функция сохраняет деталь с фактическими результирующими искажениями геометрии, полученными после механической симуляции, в виде STL-модели. Масштаб деформаций STL-модели с фактическими деформациями можно настраивать.

### 4 **Панель помощи**

Пункт “Руководство по симуляции” предлагает полное руководство в формате PDF.

Пункт “О модуле симуляции” – краткая информация о модуле и версии ПО.

## Результаты симуляции

Все результаты симуляции отображаются в виде цветовой 3D-карты на поверхности детали и/или поддержек. Наводя курсор мыши, можно узнать значение результата в каждой точке. Пределы цветовой шкалы могут быть определены автоматически или заданы вручную. Результаты симуляции отображаются как вкладки сцены в *Magics*.

Все результаты симуляции могут быть выведены на экран и наложены на окончательно напечатанную деталь до и после удаления поддержек (рис. 10); это также можно сделать на каждом слое ячеек-вокселей (рис. 11) и на предшествующем слое.

### 1 **Механическая симуляция (напряженно-деформированное состояние)**

Вычисляются и выводятся следующие результаты:

- “Смещение” – линейные деформации по компонентам (X, Y, Z и результирующие).

- “Критерий отказа” – критерий разрушения от 0 до 1 по условию хрупкого разрушения и условию пластического течения.

- “Глобально” – состояние ячеек по трем критериям:

- “Ошибки в элементах” – вероятность ошибки (в элементах, находящихся в зонах с высокой степенью деформации, она выше);
- “Относительная плотность” – позволяет предсказать пористость детали (принимает значения от 0 до 1);
- “Твердая фракция” – коэффициент пересечения объемом призматической ячейки тела детали (также принимает значения от 0 до 1).

- “Риск валика” – в зависимости от величин вертикальных компонент линейных деформаций определяется риск задира или удара напечатанных слоев детали о валик, выравнивающий слой порошка.

- “Shrink line” – показывает интенсивность горизонтальной усадки слоев, что может выражаться в виде горизонтальных борозд на напечатанном изделии.

- “Деформации” – показывает степень относительной деформации в ячейках:

- “Интенсивность пластических деформаций” – пластическая составляющая деформаций;
- “Эквивалент упругой деформации” – упругая составляющая деформаций.

- “Нагрузка” – вычисляется интенсивность напряжений:

- “Напряжения по Мизесу” – эквивалентные полные напряжения по фон Мизесу;
- “Напряжения при текучести” – предел текучести материала, а также нормальные и касательные напряжения по всем компонентам и плоскостям системы координат.

Дополнительно есть возможность включить отображение деформированной при печати детали и менять масштаб деформаций для наглядности (рис. 12).

## 2 Термическая симуляция

Как и для механической симуляции, все результаты термической симуляции могут быть отображены в виде цветовой 3D-карты. Их можно наложить как на завершённую деталь (результатирующая цветовая

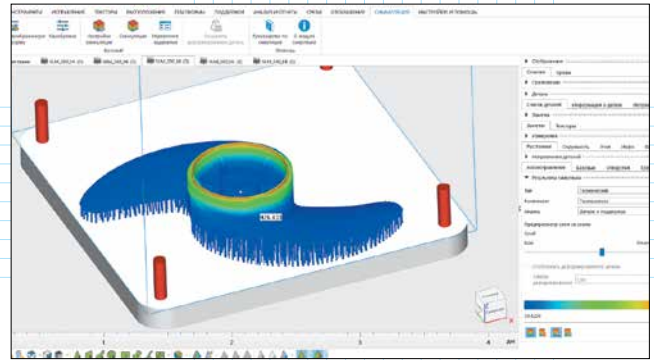


Рис. 13. Цветовая карта состояния детали после завершения построения (в данном случае – карта температур)

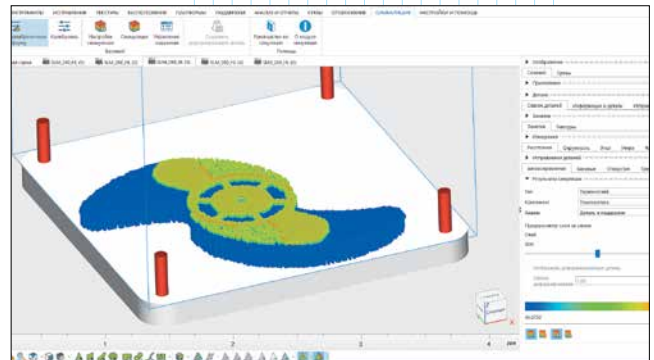


Рис. 14. Послойный просмотр цветовой карты состояния детали при 3D-печати (в данном случае – карты температур)

карта), так и на каждый слой ячеек-вокселей и на предшествующие ему слои; при этом результаты для каждого слоя могут быть представлены при нагревании (начало сплавления лазерным лучом слоя порошка), окончании нагрева (в конце сплавления слоя) и по окончании охлаждения слоя (рис. 13, 14).

Пределы цветовой шкалы могут быть определены автоматически или заданы вручную.

Результаты термической симуляции представлены тремя видами данных (рис. 15):

- “Температура” – температура в градусах Цельсия.
- “Перегрев” – показывает риск перегрева материала.

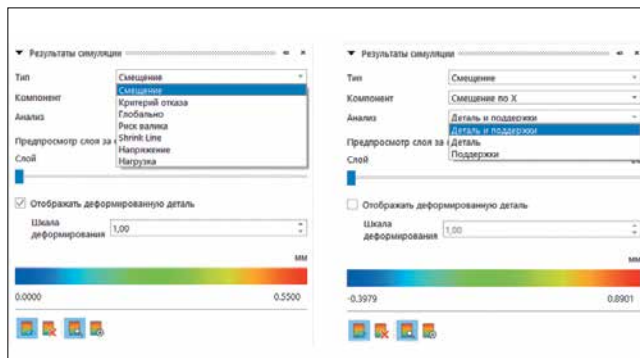


Рис. 12. Типы результатов механической симуляции (слева) и варианты объектов, для которых они отображаются (справа)

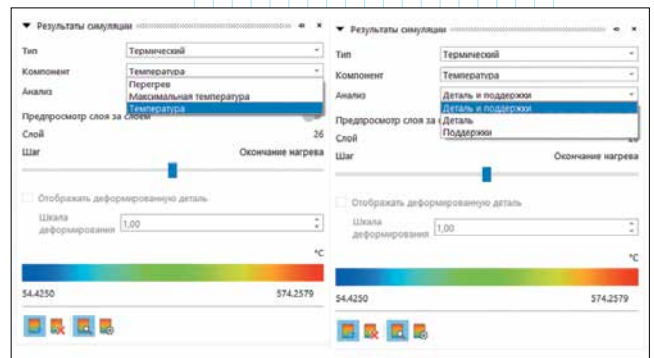


Рис. 15. Типы результатов термической симуляции (слева) и варианты объектов, для которых они отображаются (справа)

- “Максимальная температура” – показывает максимально достигнутую температуру.

### 3 Деталь с предкомпенсирующими искажениями геометрии

После завершения генерирования модели детали с предкомпенсирующими искажениями геометрии, основанными на полученных на предыдущем этапе результатах механической симуляции, эта модель появляется в списке деталей на модельной сцене с индексом *\_Compensated* (рис. 16).

### Итоги: кратко

Модуль *Simulation*, входящий в продукт *Materialise Magics*, дает возможность заранее оценить риски при подготовке модели к 3D-печати металлическими порошками. Программа позволяет определить критически важные особенности процесса построения детали, чтобы пользователь мог подкорректировать её положение и ориентацию на платформе и отредактировать поддержки при подготовке задания на печать.

С помощью *Simulation Module* вычисляются и выводятся:

- при механической симуляции – линейные деформации, критерий разрушения, прогноз пористости, риск удара рекоутером, горизонтальная усадка, пластические и упругие деформации, интенсивность внутренних напряжений;
- при термической симуляции – риски перегрева, температурные карты на каждом слое, температуры после завершения построения.

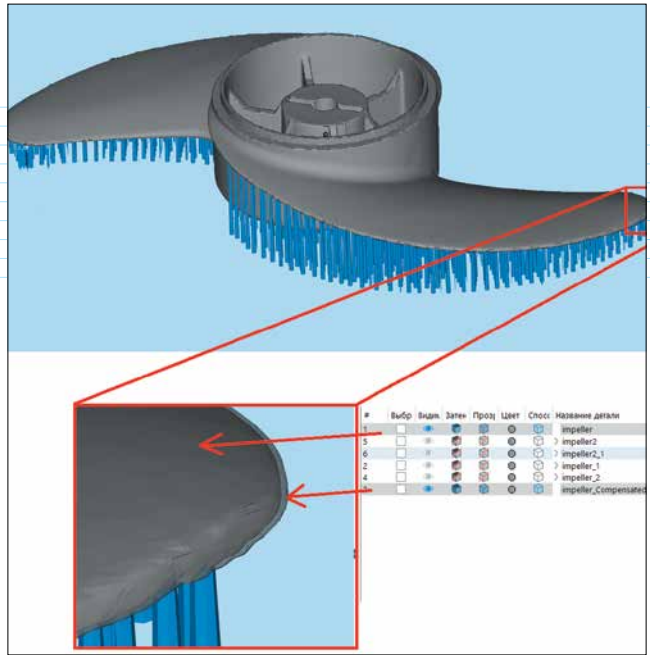


Рис. 16. Исходная деталь (непрозрачная) и деталь с предкомпенсирующими искажениями геометрии (прозрачная)

Кроме того, *Simulation Module* генерирует STL-модель детали с предкомпенсирующими искажениями геометрии, что обеспечивает более высокую точность построения изделия. 🤖

◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

# МашЭкспо Сибирь

выставка металлообработки и сварки

18+

Отраслевое событие Сибири!

## 30 МАРТА - 2 АПРЕЛЯ 2021

70

Более 70 производителей и поставщиков оборудования и материалов для металлообработки и сварки из России, Белоруссии, Германии, Италии, Швейцарии, Японии, Китая.

Здесь ведущие производители станков, сварочного оборудования встречаются с представителями крупных и средних промышленных предприятий.

Деловая программа посвящена актуальным проблемам машиностроения и передовым технологиям в сфере металлообработки.

Организатор: ООО «СВК»

СИБИРСКАЯ  
ВЫСТАВОЧНАЯ  
КОМПАНИЯ

Место проведения:

НОВОСИБИРСК  
ЭКСПО ЦЕНТР

mashexpo-siberia.ru

46

CAD/CAM/CAE Observer #8 (140) / 2020