

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению практических работ по дисциплине
«САПР в машиностроении»

*для обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение»,
Магистерская программа «Современные технологии производства
в машиностроении» всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 621.9.047

Составители: Е.В.Смоленцев, В.Г. Грицюк

Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «САПР в машиностроении» для обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение», Магистерская программа «Современные технологии производства в машиностроении» всех форм обучения / ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.В. Смоленцев, В.Г. Грицюк.- Воронеж, 2022. 16 с.

Методические рекомендации включают теоретические и практические сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «САПР в машиностроении» для обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение», Магистерская программа «Современные технологии производства в машиностроении» всех форм обучения.

УДК 621.9.047

Рецензент д.т.н., профессор А.И. Кузовкин

Рекомендовано методическим семинаром кафедры «Технология машиностроения» и методической комиссией ФМАТ Воронежского государственного технического университета в качестве методических материалов

1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

1.1. Цели дисциплины

-приобретение студентами практических и теоретических знаний в области использования систем автоматизированного проектирования, необходимых для производительности труда и эффективности работы конструкторов и технологов в современных производствах при изготовлении деталей высокой сложности.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- ознакомление студентов с возможностями передовых САПР в машиностроении;

- дать представление о функционале и структуре современных программных продуктов САПР;;

- дать практические и теоретические знания по разработке технической документации в модулях САПР.

1.3 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «САПР в машиностроении» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины «САПР в машиностроении» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен организовать разработку технических заданий на проектирование специальной оснастки, инструмента, приспособлений, нестандартного оборудования, средств комплексной механизации и автоматизации технологических процессов

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать возможности программного обеспечения САПР в машиностроении
	Уметь выбирать и эффективно использовать функциональность современного программного обеспечения САПР исходя из поставленных задач
	Владеть навыками разработки технической документации для деталей и сборочных узлов, выпускаемых базовым предприятием

К проведению практической работы обучающиеся готовятся заблаговременно: определяется какие вопросы нужно повторить, чтобы ее выполнить, просматриваются задания, оговаривается ее объем и время ее выполнения. Критерии оценки сообщаются перед выполнением каждой

практической работы. Перед выполнением практической работы повторяются правила техники безопасности. При выполнении практической работы обучающийся придерживается следующего алгоритма:

1. Записать дату, тему и цель работы.
2. Ознакомиться с правилами и условиями выполнения практического задания.
3. Повторить теоретические задания, необходимые для рациональной работы и других практических действий.
4. Выполнить работу по предложенному алгоритму действий.
5. Обобщить результаты работы, сформулировать выводы по работе.
6. Дать ответы на контрольные вопросы.
7. Объем отчета может колебаться в пределах 5-10 печатных страниц, в зависимости от работы: тексты должны быть напечатаны 14 кеглем Times New Roman, через 1,5 интервала, поля страниц: верхнее, нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1,5 см, абзац. отступ – 1,5 см или 10-15 рукописных; все приложения к работе не входят в ее объем.

Работа должна быть выполнена грамотно, с соблюдением культуры изложения.

Предметом оценки освоения дисциплины являются умения, знания, общие компетенции, способность применять их в практической деятельности и повседневной жизни.

2. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

По дисциплине «САПР в машиностроении», в зависимости от формы обучения, могут выполняться следующие практические работы:

1. Новые возможности Сапр
2. Облачные сервисы
3. Прямое (гибридное) моделирование
4. Параллельное проектирование
5. Кинематика (анимация) сборок
6. Визуализация
7. Аддитивные технологии
8. Библиотеки и внешние приложения
9. Использование мобильных устройств
10. Дополненная реальность
11. Поверхностное моделирование

Подробное содержание, цели и задачи работ приведены в [1,2,3].

3. КРАТКИЙ ОБЗОР СОДЕРЖАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Термин «Индустрия 4.0» появился в 2011 году в Германии. Он обозначал умные заводы — те предприятия, где внедряют цифровые технологии. В Америке называется интернет вещей, в Китае — интернет 2.0, а в России — цифровая экономика

Промышленные революции меняют не только производство, но и всю жизнь людей. Индустрия 4.0 имеет потенциал изменить не только экономику и систему отношений между людьми, но даже повлиять на то, что значит быть человеком. Ведь она предполагает повсеместное внедрение искусственного интеллекта, роботизацию, интернет вещей, био- и нейротехнологии.

Немецкие специалисты сформулировали принципы построения Индустрии 4.0:

Первый — это совместимость, что означает способность машин, устройств, сенсоров и людей взаимодействовать и общаться друг с другом через интернет вещей (IoT).

Это ведет к следующему принципу — прозрачности, которая появляется в результате такого взаимодействия. В виртуальном мире создается цифровая копия реальных объектов, систем функций, которая точно повторяет все, что происходит с ее физическим клоном. В результате накапливается максимально полная информация обо всех процессах, которые происходят с оборудованием, «умными» продуктами, производством в целом и так далее. Для этого требуется обеспечить возможность сбора всех этих данных с сенсоров и датчиков и учета контекста, в котором они генерируются.

Техническая поддержка — третий принцип Индустрии 4.0. Суть его в том, что компьютерные системы помогают людям принимать решения благодаря сбору, анализу и визуализации всей той информации, о которой говорится выше. Эта поддержка также может заключаться в полном замещении людей машинами при выполнении опасных или рутинных операций.

Четвертый принцип — децентрализация управленческих решений, делегирование некоторых из них киберфизическим системам. Идея в том, чтобы автоматизация была настолько полной, насколько это вообще возможно: везде, где машина может эффективно работать без вмешательства людей, рано или поздно должно произойти человекозамещение. Сотрудникам при этом отводится роль контролеров, которые могут подключиться в экстренных и нестандартных ситуациях.

Четвёртая промышленная революция связывается с так называемыми ключевыми технологиями, которые «скоро» должны прочно войти в нашу

жизнь. К данным технологиям причисляют следующие:

Аналитика на основе больших данных и искусственного интеллекта. «Индустрия 4.0» предполагает сбор больших данных из широкого спектра источников — от производственного оборудования и устройств Интернета вещей (IoT) до систем ERP и CRM, а также погодных и дорожных приложений. Аналитические инструменты на базе искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения применяются к данным в реальном времени, а полученная информация используется для принятия более точных решений и автоматизации во всех областях управления цепочкой поставок: планирование цепочки поставок, управление логистикой, производство, исследования и проектирование, управление активами предприятия (EAM) и закупки.

Горизонтальная и вертикальная интеграция. Основа основ «Индустрии 4.0» — горизонтальная и вертикальная интеграция. Горизонтальная интеграция обеспечивает тесное взаимодействие процессов на «местном уровне» — на производственном участке, между несколькими производственными объектами и в масштабе всей цепочки поставок. Благодаря вертикальной интеграции все уровни организации связаны между собой, а данные свободно передаются из цеха в совет директоров и обратно. Иными словами, производство тесно интегрировано с такими бизнес-процессами, как исследования и разработки, обеспечение качества, продажи и маркетинг, а также с другими подразделениями. Разрозненность данных и знаний уходит в прошлое.

Облачные вычисления. Облачные вычисления это мощнейший инструмент концепции «Индустрия 4.0» и цифровой трансформации. Возможности современных облачных технологий далеко не ограничиваются повышением скорости, масштабируемости, удобства хранения и экономической эффективности. Они являются основой для новейших технологий — от ИИ и машинного обучения до Интернета вещей — и предоставляют компаниям техническую возможность внедрения инноваций. Данные, на которых строятся технологии «Индустрии 4.0», хранятся в облаке, а киберфизические системы, составляющие ядро этой концепции, используют облако для связи и координации.

Дополненная реальность (AR). Инструменты дополненной реальности, накладывающие цифровой контент на реальную окружающую среду, являются ключевым компонентом «Индустрии 4.0». Работая в среде дополненной реальности, сотрудники используют умные очки или мобильные устройства для визуализации данных Интернета вещей реального времени, оцифрованных деталей, инструкций по ремонту или сборке, обучающего контента и другой информации, глядя при этом на материальный объект — например, единицу оборудования или продукт. AR все

еще находится на раннем этапе своего развития, но уже сегодня оказывает серьезное влияние на процессы технического обслуживания, предоставления услуг и обеспечения качества, а также на обучение технических специалистов и обеспечение безопасности.

Промышленный Интернет вещей (IIoT). Интернет вещей (IIoT) — точнее говоря, промышленный Интернет вещей — настолько важен для «Индустрии 4.0», что эти два термина часто используются как взаимозаменяемые. Большинство физических объектов в «Индустрии 4.0» — устройства, роботы, машины, оборудование, продукты — используют датчики и RFID-метки для предоставления в реальном времени данных о своем состоянии, производительности или местоположении. Эта технология позволяет компаниям оптимизировать цепочки поставок, быстро проектировать и модифицировать продукты, предотвращать простои оборудования, оставаться в курсе предпочтений потребителей, отслеживать продукты и запасы и т. д.

Аддитивное производство/3D-печать. Аддитивное производство, или 3D-печать, — еще одна ключевая технология, лежащая в основе концепции «Индустрия 4.0». 3D-печать изначально использовалась как инструмент быстрого создания прототипов, однако теперь предлагает более широкий спектр сценариев применения — от массовой кастомизации до распределенного производства. Так, применение 3D-печати позволяет хранить детали и продукты в виде файлов проектных данных на виртуальных складах и печатать их по запросу в момент возникновения потребности, сокращая как расстояния транспортировки, так и затраты.

Автономные роботы. «Индустрия 4.0» привела к появлению нового поколения автономных роботов. Запрограммированные для выполнения задач с минимальным вмешательством человека, автономные роботы значительно различаются по размерам и функциям — от беспилотных аппаратов для сканирования запасов до автономных мобильных роботов для подъемно-транспортных операций. Вооруженные передовым программным обеспечением, ИИ, датчиками и машинным зрением, эти роботы способны выполнять сложные и требующие высокой точности задачи, а также распознавать и анализировать информацию, получаемую из окружения, и действовать с ее учетом.

Моделирование/цифровые двойники. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель реальной машины, продукта, процесса или системы, созданную на основе данных от датчиков Интернета вещей. Этот базовый компонент «Индустрии 4.0» позволяет компаниям лучше понимать, анализировать и улучшать производительность и техническое обслуживание промышленных систем и продуктов. Например, оператор оборудования может использовать цифровой двой-

ник для точного определения неисправной детали, прогнозирования потенциальных проблем и увеличения продолжительности безотказной работы.

Кибербезопасность. В условиях постоянно растущего уровня подключенности и использования больших данных в «Индустрии 4.0» кибербезопасность приобретает первостепенное значение. Внедрив архитектуру безопасности с нулевым доверием (Zero Trust) и такие технологии, как машинное обучение и блокчейн, компании получают возможность автоматизировать обнаружение, предотвращение и реагирование на угрозы, а также свести к минимуму риск утечки данных и задержек в производстве в своих сетях.

В новом тысячелетии потребность в более качественном, быстром и дешевом проектировании всё усложняющейся продукции возможно решать путем быстрого изменения моделей производства и бизнеса, их моментального приспособления к требованиям сложившейся ситуации на рынке. Например, в 90-х годах важной проблемой была организация совместной работы многочисленных сотрудников внутри предприятия, обеспечение параллельной работы при проектировании и производстве изделия. В настоящее время коллаборативность необходимо обеспечивать в условиях, когда отдельные специалисты, подразделения и компании работают и вносят вклад в процесс разработки или производства изделия в несоизмеримо более разветвленных компьютерных сетях, находясь, зачастую, в очень удаленных географических регионах.

Ввиду этого, особую ценность сегодня приобретают возможности, обеспечивающие синхронную работу многих пользователей в режиме реального времени. Многие считают, что внедрение таких инструментов тормозится наличием проблем с обеспечением безопасности при передаче данных, а также ограниченной производительностью подобных систем. Однако в реальности камнем преткновения остается сопротивление изменениям, вызываемое привычкой к сложившейся практике.

В настоящее время в машиностроительном САПР наблюдается развитие в двух основных направлениях.

Во-первых, САД-системы предоставляют все более широкие возможности работы с проектом (информацией) при меньших трудозатратах. Прежде всего, речь идет о качественном улучшении инструментов, появлении средств, обеспечивающих более полный охват всех аспектов создания и тестирования виртуального изделия. Одна из проблем состоит в том, что деятельность групп, разрабатывающих механическую, электрическую и электронную части изделия, а также программное обеспечение для него, всё ещё разрознена и происходит практически независимо. Очевидно, что достижения в развитии комплексного проектирования и

моделирования поведения конструкции позволят решить ряд вопросов в этой области. Другая проблема состоит в том, что современные информационные технологии, стремительно развиваясь, дают все время новые возможности технологам и конструкторам, расширяя их возможности в перспективе. Сюда можно отнести такие явления, как облачные технологии и вычисления, виртуальную и дополненную реальности.

Во-вторых, расширяется спектр задач, решаемых индустриальным программным обеспечением. Проектирование - это только одна из задач. Какие изделия необходимо создавать? Как сделать их лучше? Как поддерживать их в процессе эксплуатации наилучшим образом и каким способом лучше утилизировать? Можем ли мы усовершенствовать документооборот предприятия и управлять взаимодействием территориально рассредоточенных сотрудников, работающих над созданием изделия? Чем, кроме цены, будут отличаться наши изделия? Вот неполный перечень вопросов, которые относятся к области программного обеспечения, часто называемой управлением жизненным циклом изделия, или PLM (Product Lifecycle Management). Сюда же относятся вопросы «цифровизации» изделий и целых производств

“Цифровой двойник” — это набор компьютерных моделей, позволяющих виртуально проектировать, проверять и оптимизировать детали, изделия и технологические процессы или целые производственные линии [4]. Это делается быстро, точно и с максимальным приближением к реальному прототипу. “Цифровые двойники” используют данные с датчиков, установленных на реальных объектах. Это позволяет представлять их состояние, режим работы или расположение практически в реальном времени.

По классической схеме технология “цифрового двойника” внедряется в процессы конструирования, технологического проектирования и в контуры обратной связи, предоставляющие создателям изделия информацию о его эксплуатации.

В состав “цифрового двойника” входит вся конструкторская информация по изделию, а именно:

- 3D-модели (создаваемые в САД-системах);
- модели систем изделия (создаваемые в системоориентированных средствах разработки);
- спецификация материалов;
- 2D и 3D-модели для проведения инженерных расчетов в САЕ-системах;
- встроенное программное обеспечение;
- проекты электронных узлов изделия.

В результате получается полнофункциональная компьютерная модель изделия, пригодная для решения практически 100% задач виртуального тестирования и испытаний. При этом устраняется потребность в изготовлении опытных образцов, сокращаются сроки разработки и повышается качество готовой продукции. Кроме того, предприятие может быстрее реагировать на пожелания заказчиков.

Современные программные решения обеспечивают разработку трех важнейших моделей, необходимых любому промышленному предприятию при проектировании технологических процессов:

- модель технологического процесса (“как это изготовить”) представляет собой точное описание способа производства изделия;

- модель производственных мощностей - полное цифровое представление технологических и сборочных линий, применяемых для изготовления изделия;

- модель системы промышленной автоматизации - описание системы автоматизированного управления технологическими процессами.

Применительно к производству ценность “цифрового двойника” заключается в уникальной возможности виртуально имитировать всю производственную систему, что позволяет проверять и оптимизировать её. “Цифровой двойник” также позволяет проконтролировать процесс изготовления изделия, его деталей и узлов, при помощи разработанных технологических процессов, имеющихся производственных линий и систем автоматизации.

Более того, “цифровой двойник” дает возможность включить и задачи логистики для разработки эффективной схемы поставок материалов на производственную линию. Таким образом, задачи снабжения решаются и в рамках “цифрового двойника”, и в рамках реальной логистической системы. Робокраны, стеллажи, контейнеры и конвейеры тоже становятся частью “цифрового двойника” производства - вернее, “умной фабрики”.

Следует подчеркнуть, что, хотя небольшим организациям и не требуется внедрять все элементы “цифрового двойника”, ряд этих элементов является критически важным независимо от размера предприятия. Без них даже небольшая и гибкая компания не сможет выдержать конкуренции.

Для большинства производителей наиболее важными являются два использования цифрового двойника: “Умный завод” и “Умное изделие”.

На продвижение концепции “умного завода” развитые страны направляют серьезные ресурсы. Данная концепция обеспечивает высокую производительность и сохранение рабочих мест в промышленности. Что же называется “умным заводом”?

К важнейшим факторам, необходимым для создания “умного завода” относятся:

- возможность обмена данными с технологическим оборудованием;
- наличие современных робототехнических систем, гибких средств и стандартов автоматизации;
- использование систем виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности.

Умный завод - это цифровая модель всей технологической системы, цифровой двойник предприятия [5]. Датчики, SCADA-системы, ПЛК (программируемые логические контроллеры) и иные средства автоматизации позволяют интегрировать такую модель с основным хранилищем данных PLM-решения (PLM – Product Life Management – управление жизненным циклом изделия). На умном заводе регистрируются все события, происходящие в цехах в ходе производства, и необходимая информация передается в PLM-систему - непосредственно или через облако.

Заводской цех становится неотъемлемой частью цифровой платформы предприятия, а применение единого стандарта обмена данными между системами автоматизации обеспечивает простое подключение любого технологического оборудования к подобной платформе. Благодаря наличию интегрированных средств контроля энергопотребления и алгоритмам автоматизированного принятия решений, заводы будущего будут расходовать гораздо меньше электроэнергии. Представленная в рамках цифровой платформы информация анализируется методами искусственного интеллекта, а основные найденные закономерности передаются на этап конструкторско-технологического проектирования изделий или производственных мощностей.

Представление модели завода в системе Intosite показано на рисунке 1. Intosite - это облачное приложение для обмена производственно-технологической информацией, представленной в цифровом виде и в 3D-контексте. Intosite способствует совместной работе различных служб предприятия и специалистов разного профиля. Система отличается простым, интуитивно понятным интерфейсом.

В основе умного завода лежат такие концепции, как подключение всего оборудования к сетям передачи данных и гибкость производственных процессов. Партия может состоять всего из одного изделия. Детали, узлы и готовые изделия транспортируются на роботизированных тележках. У такой тележки нет фиксированного маршрута: она перемещается от одной позиции к другой в соответствии с маршрутом технологического процесса, но при этом следующая точка маршрута (станок, участок сборки или контроля) выбирается в соответствии с их текущей загруженностью.

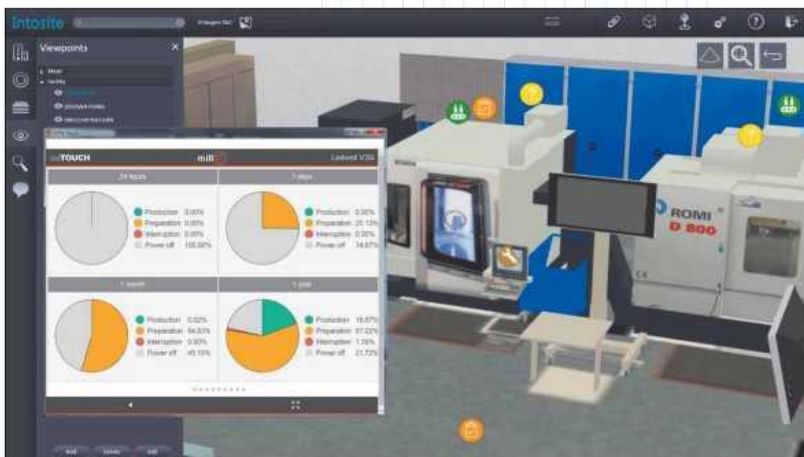


Рисунок 1. Intosite - облачное приложение для интеллектуального просмотра виртуальных моделей заводов, находящихся в любой точке земного шара. Intosite обеспечивает совместную работу с важнейшей технологической информацией - например, с представленными здесь диаграммами выпуска продукции, выводимыми прямо на пульт управления станка

В любой момент времени тележка рассчитывает маршрут к следующей точке, и в новое место назначения направляется соответствующая управляющая программа, причем все эти изменения вносятся динамически, прямо в ходе производства. Робот, станок или 3D -принтер получает новую управляющую программу и ждет доставки новой заготовки. Аналогично распределяются и все прочие производственные ресурсы: режущий инструмент, оснастка, приспособления.

Технологическое оборудование будет обмениваться информацией, сообщая, как минимум, такие сведения: свое местонахождение, состояние (работа/ ожидание/ заблокировано), температура, влажность и пр. Если речь идет о станке с ЧПУ или автоматизированном производственном участке, то объем собираемых данных существенно возрастает.

Если же это станок с ручным управлением (или участок таких станков), то информация собирается при помощи дополнительно устанавливаемых датчиков.

Чтобы получить максимальную гибкую систему, технологические ресурсы будут обмениваться информацией между собой, а также с деталями, узлами и изделиями. На заводе будущего в каждое изделие будет встраиваться чип, хранящий всю необходимую информацию о технологических процессах и операциях контроля качества. Когда такое изделие поступает на участок, с чипа загружаются следующие данные: какую

технологическую операцию необходимо выполнить, какую оснастку применить, какую управляющую программу загрузить в стойку управления станка, какие потребуются детали и материалы, а также каков требуемый уровень квалификации рабочих.

Кроме того, часть производственных ресурсов будет размещаться на подвижных платформах. Это еще больше повышает гибкость, позволяя доставлять эти ресурсы к детали или изделию по мере необходимости.

Например, робот с ЧПУ устанавливается на подвижную роботизированную тележку, которая отвозит его в нужное место для выполнения операции механической обработки или полирования. При этом перемещать само изделие или заготовку не требуется.

При такой организации производства, после операции 3D -печати детали или узла с помощью 3D -принтера, можно довести работу до конца, сразу же направив туда робота для выполнения финишных операций.

Облачная система автоматизированного управления производством (Manufacturing Operations Management, MOM) собирает поступающую от технологических ресурсов информацию, тем самым помогая создавать эффективные и гибкие производственные процессы, а также обеспечивать высокую производительность и минимальные простои оборудования.

В ходе производства информация, поступающая от технологического процесса, детали, изделия и технологических ресурсов, передается в конструкторско-технологические службы предприятия. Она помогает инженерам в улучшении конструкции изделия, повышении эффективности технологии его изготовления и выявлении оптимальных приемов работы путем сравнения вариантов организации производства на различных предприятиях в разных странах мира.

На умном заводе люди трудятся вместе с роботами-сотрудниками ("со-роботами"). Такие роботы оснащаются большим количеством датчиков и эффективно взаимодействуют с людьми.

Такие модели позволяют точно оценивать возможные риски, а также проверять технологическую среду на соответствие нормам техники безопасности

Роботы с системами технического зрения и искусственного интеллекта смогут функционировать автономно, перемещаясь в нужное место и точно воспроизводя выполняемые вручную операции. Они также смогут приспосабливаться к меняющимся условиям - например, к перемещению деталей или изделий.

Обучение персонала на умном заводе будет проводиться с применением технологий виртуальной реальности (Virtual Reality, VR). Возможности VR позволяют изучать технологические линии в виртуальном

мире, буквально заглядывая внутрь оборудования, причем задолго до того, как оно появится в цехе. При помощи устройств виртуальной реальности ремонтники будут обучаться выполнению технического обслуживания сложных технологических систем, а цеховой персонал сможет осваивать правила управления оборудованием и выполнения технологических процессов.

После того как производственная линия смонтирована, рабочие смогут воспользоваться технологией дополненной реальности. Она позволяет изучать технологические процессы в виде анимаций, без труда выявлять следующую технологическую операцию (просто направив камеру устройства на заготовку или изделие), а также проверять правильность действий рабочих. Кроме того, при наличии подобных возможностей рабочие смогут направлять роботов в недоступные для человека места, и выполнять там технологические операции.

Все изменения в технологической системе предприятия автоматически фиксируются и при посредстве MOM-системы загружаются в главное хранилище данных PLM-системы. Как следствие, при разработке технологического процесса для выпуска нового изделия на существующей производственной линии, инженеры могут по максимуму использовать уже имеющиеся данные.

Умное изделие. Почти все выпускаемые сегодня изделия можно назвать “умными”. Многие из наших заказчиков стараются организовать обратную связь с выпущенными умными изделиями, находящимися в эксплуатации!

Мониторинг процесса эксплуатации изделия позволяет получить новые знания, необходимые для дальнейшего совершенствования конструкции. Более того, обмен данными с умными изделиями - это путь к созданию новой модели ведения бизнеса и получению конкурентных преимуществ.

Например, производители авиадвигателей могут продавать не сами двигатели, а часы их лётной эксплуатации. Когда авиакомпания покупает только “полетное время”, она не только сокращает капиталовложения, но и получает более высокий уровень обслуживания, так как производитель заинтересован в проведении работ с максимально возможным качеством. По такой схеме производитель авиадвигателей получает деньги только за реальные часы полета, поэтому ему необходимо обеспечить постоянный контроль за работой двигателя, предоставлять рекомендации по правильной эксплуатации и техническому обслуживанию и самостоятельно выполнять определенные виды работ, включая текущий и капитальный ремонт.

Итак, ценность “цифрового двойника” заключается вот в чём: он обеспечивает гибкость, а также сокращает сроки проектирования производства и проведения конструкторско-технологической подготовки. “Цифровой двойник” повышает качество продукции и даже открывает возможности для новых моделей ведения бизнеса, благодаря которым предприятия малого и среднего размера могут расти и внедрять самые современные производственные технологии. “Цифровой двойник” поможет всем предприятиям в решении таких задач, как сокращение сроков выпуска изделий на рынок, снижение себестоимости, повышение гибкости, качества и производительности на всех организационных уровнях

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоленцев Е.В. Технология машиностроения. САПР в машиностроении: курс лекций (учебное пособие) / Е.В. Смоленцев, В.Г. Грицюк, С.В. Ковалев // ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т". - Воронеж : Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2020. 132 с
2. Смоленцев Е.В. «САПР в машиностроении (CAD/CAM/CAE системы): лабораторный практикум»: Учеб.пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2010. 117 с
3. Смоленцев Е.В. Практикум по дисциплине «САПР в машиностроении (CAD/CAM/CAE системы)»: Учеб.пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2010. 193 с

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие рекомендации по выполнению лабораторных работ	1
2. Тематика и содержание лабораторных работ	4
3. Краткий обзор содержания практических работ	3
Библиографический список	15

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению практических работ по дисциплине
«САПР в машиностроении»

для обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение», Магистерская программа «Современные технологии производства в машиностроении» всех форм обучения

Составители:

Смоленцев Евгений Владиславович
Грицюк Василий Григорьевич

В авторской редакции

Подписано в печать 04.06.2022

Формат 60x84 1/8 Бумага для множительных аппаратов Уч.-изд. л. 3,3
Усл. печ. л. 3,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
396026 Воронеж, Московский просп., 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ 396026 Воронеж,
Московский просп., 14