



# Силоизмерительные системы для авиационных двигателей

MEPA 2023





## О компании

MEPA – ведущая технологическая компания на территории РФ в области разработки, производства и внедрения систем испытаний и систем измерений

30

лет на рынке

Более

70

интеграционных  
проектов

Более

350

сотрудников

Более

3000

проектов реализовано

\*

### Направления деятельности



Разработка  
стендовых систем  
и испытательных  
стендов «под ключ»



Разработка  
систем  
измерения



**Силоизмерительные  
системы**



Разработка ПО  
для испытаний



Приборостроение

\* Данные на 2022 год



# Требования к современным СИС

СИС ОТНОСИТСЯ К КЛЮЧЕВЫМ И НАИБОЛЕЕ ОТВЕТСТВЕННЫМ КОМПОНЕНТАМ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА.



Соответствие отраслевым и государственным стандартам



Широкая номенклатура испытываемых двигателей



Оптимизация затрат на эксплуатацию, подготовку к работе силоизмерительных систем



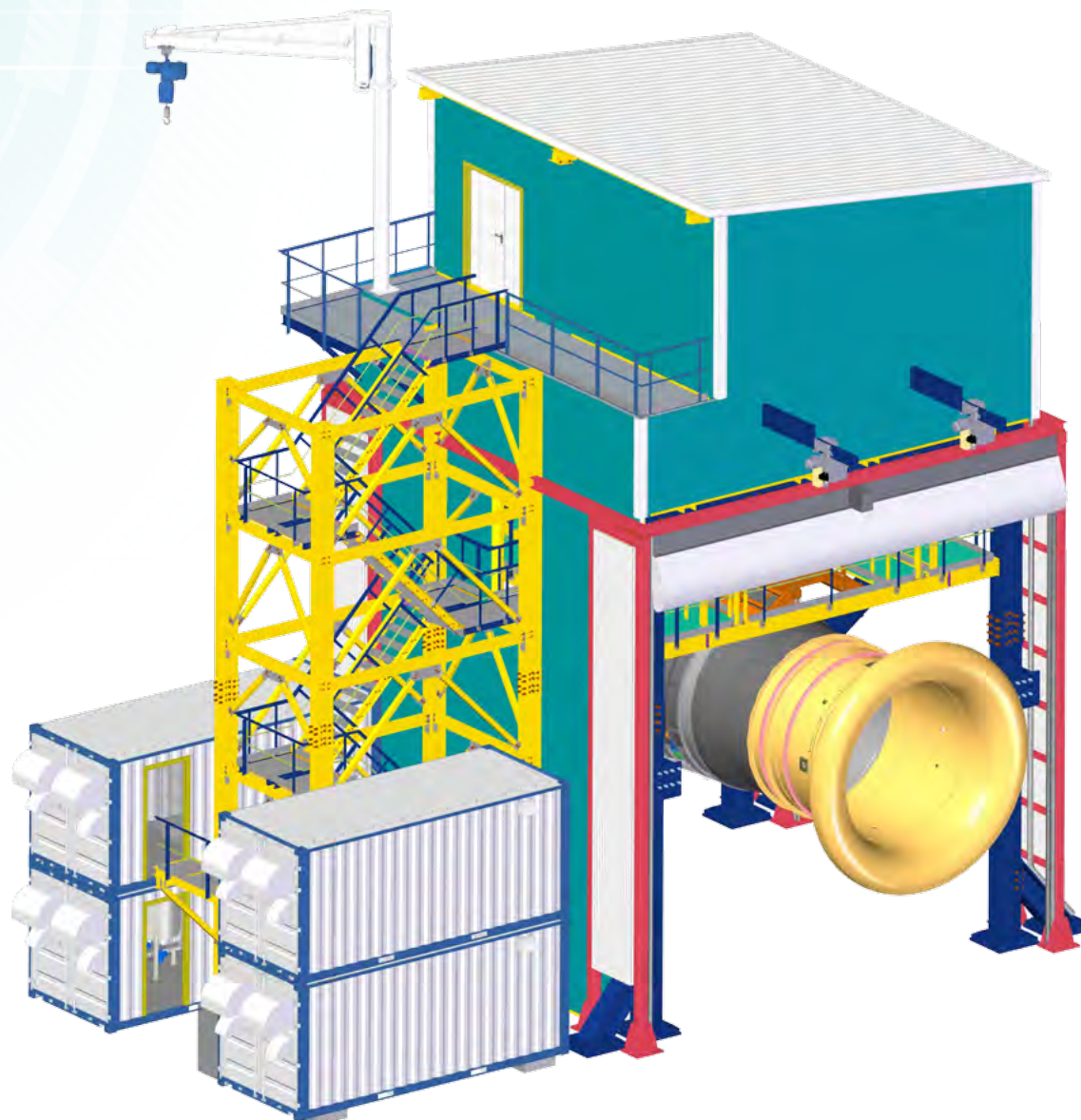
Возможность интеграции в единую цифровую среду



Эргономические характеристики



Высокие метрологические характеристики

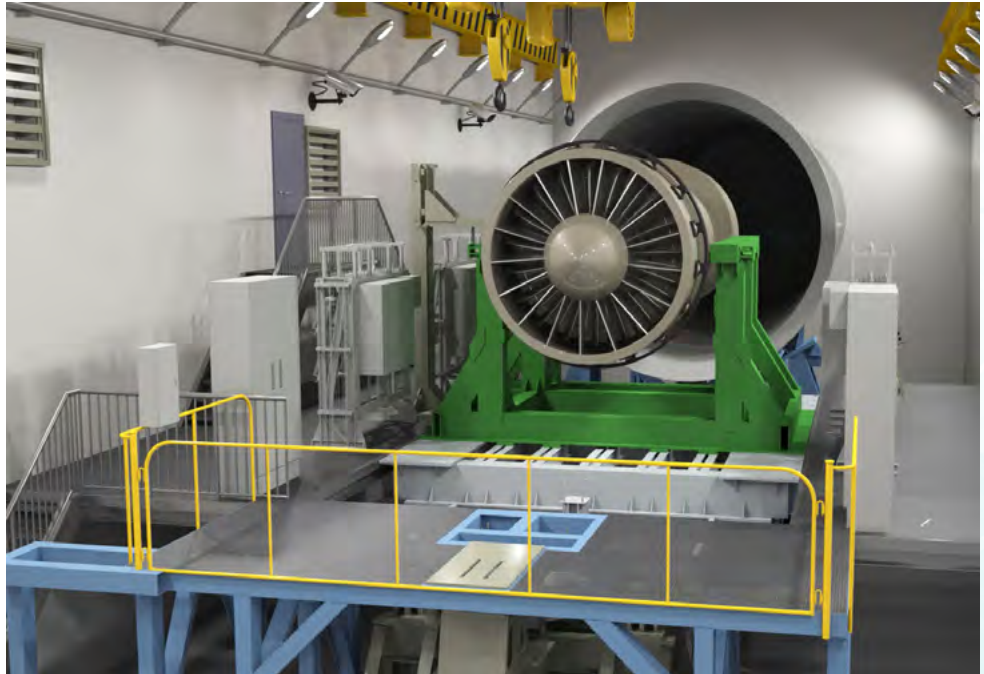


# Силоизмерительная система

С УЧЕТОМ ЖЕСТКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ, А ТАКЖЕ НАКОПЛЕННОГО ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДОБНЫХ СИСТЕМ, МЕРА ПРЕДЛАГАЕТ ЗАКОНЧЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ ОТ ТЯГИ АВИАЦИОННЫХ, ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

При разработке и изготовлении силоизмерительных систем МЕРА учитывает множество факторов и требований заказчика:

- проведение испытаний в различных условиях полета
- типы подвески двигателя
- форсажный и безфорсажный варианты исполнения двигателя
- испытания с реверсом тяги
- высокие эргономические характеристики, обеспечивающие удобство эксплуатации
- высокий коэффициент запаса прочности
- учет аварийных нагрузок и их комбинации
- использование адаптерной технологии с применением различного вида быстроразъемных соединений (БРС)



В СИС интегрированы следующие интеллектуальные системы (ИС):

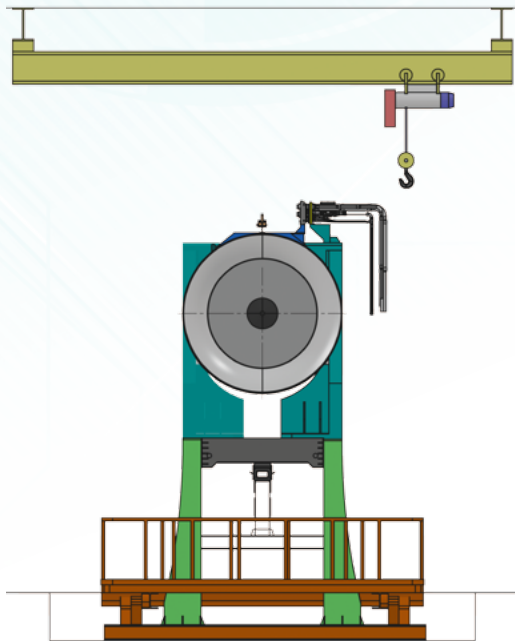
- система контроля надежности (СКЭН)
- система автоматизированной парковки (САП)
- градуировочная и поверочная системы (СГУ и ПГУ)

Доступны решения по ускорению подготовки к испытаниям, упрощению транспортировки двигателя к месту проведения испытаний в условиях высокой загрузки стенда.

# Основные схемы организации СИС для определения силы от тяги авиационных двигателей до 50 тс

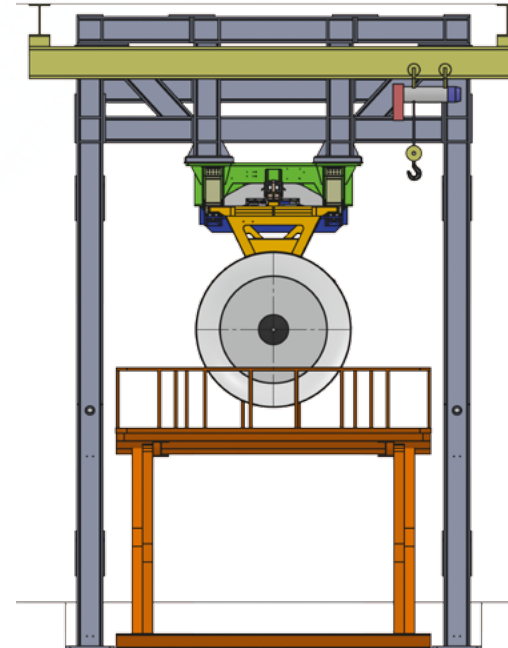
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ МЕРА ПРЕДЛАГАЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИС С РАЗЛИЧНЫМИ ВАРИАНТАМИ РАСПОЛОЖЕНИЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТАНКА.

**1** С нижним расположением силоизмерительного станка



Для двигателей внутрифюзеляжного расположения

**2** С верхним расположением силоизмерительного станка на несущем портале

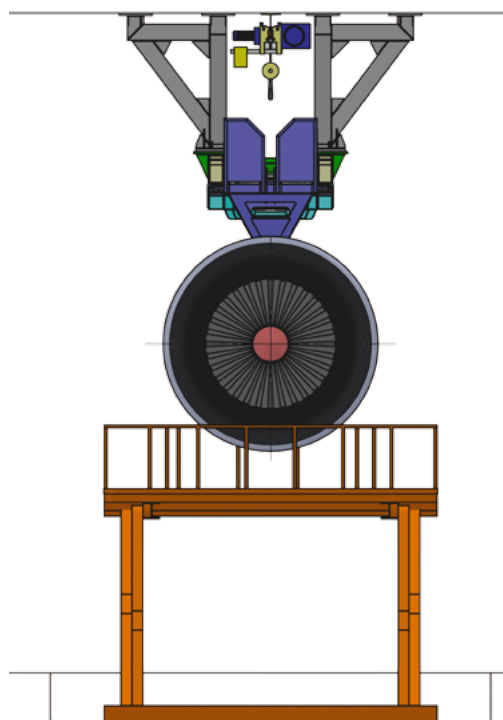


Для модернизации существующих испытательных стендов



3

С верхним расположением  
силоизмерительного станка  
на несущем силовом потолке

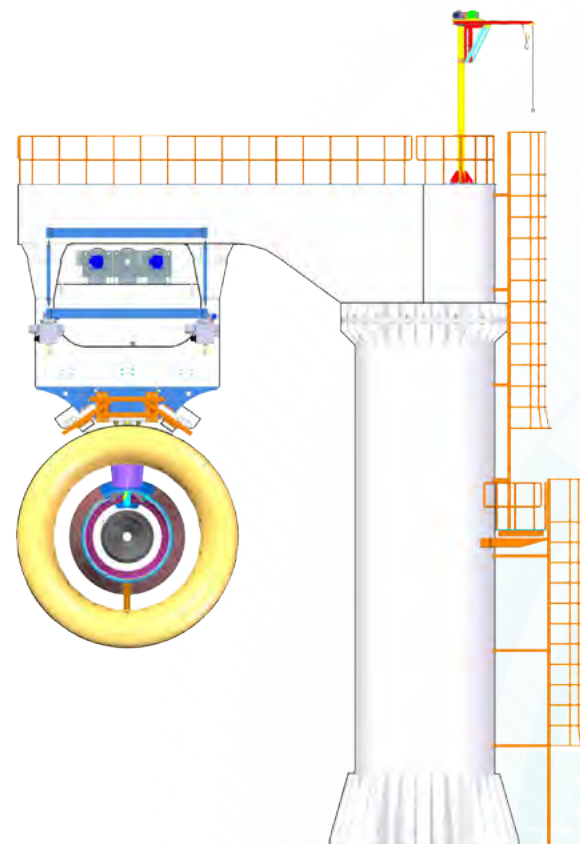


---

Для вновь создаваемых  
испытательных стендов

4

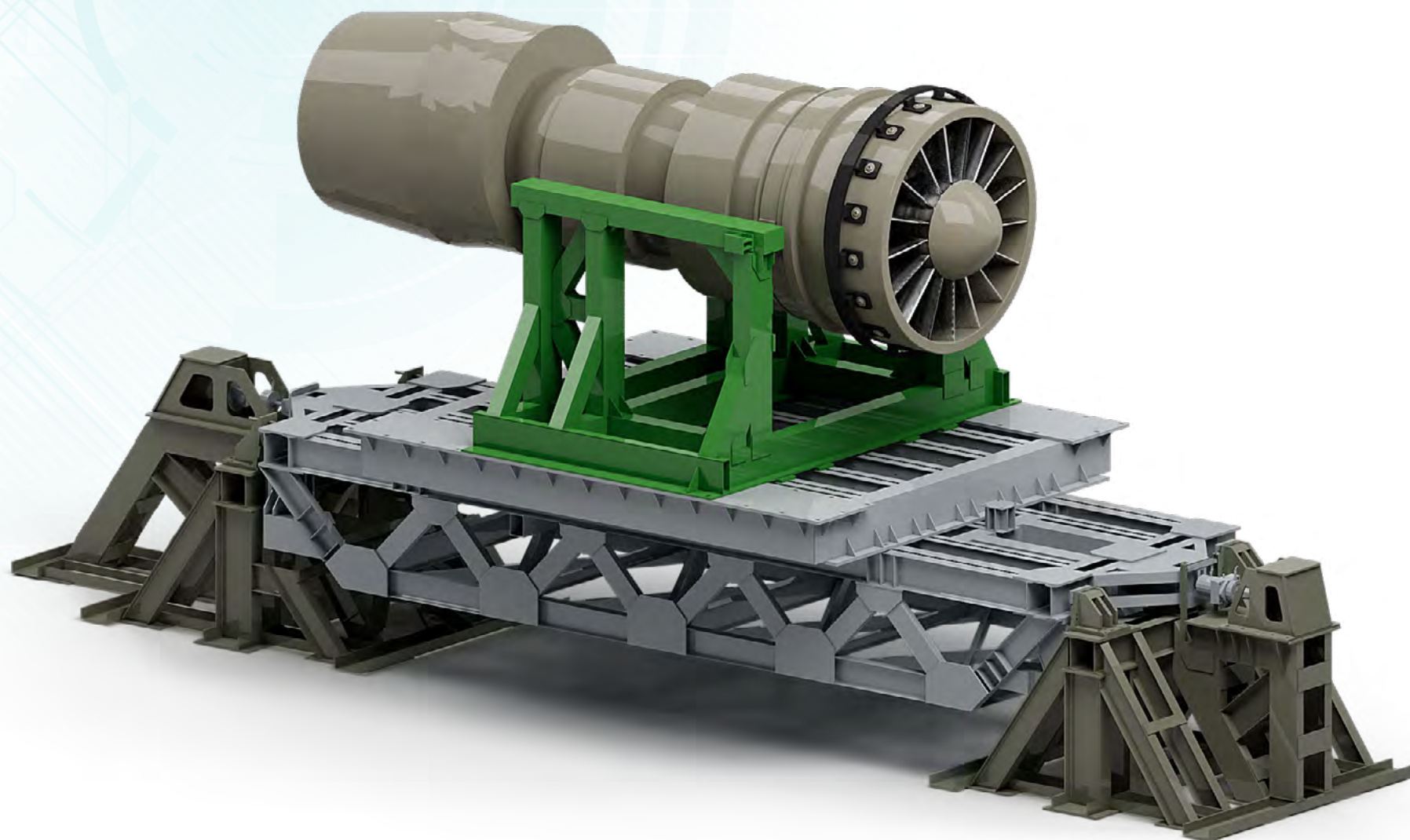
С верхним расположением  
силоизмерительного станка  
на Г-образном портале



---

Для открытых стендов

# Компоновка СИС с нижним расположением станка



Концептуальное представление СИС с нижним расположением силоизмерительного станка



# Компоновка СИС с возможностью установки различных типов двигателей



КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИС ПОЗВОЛЯЮТ УСТАНОВЛИВАТЬ НА СТАНОК ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ И ПОЛНОРАЗМЕРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ СОПОСТАВИМОЙ ТЯГИ.

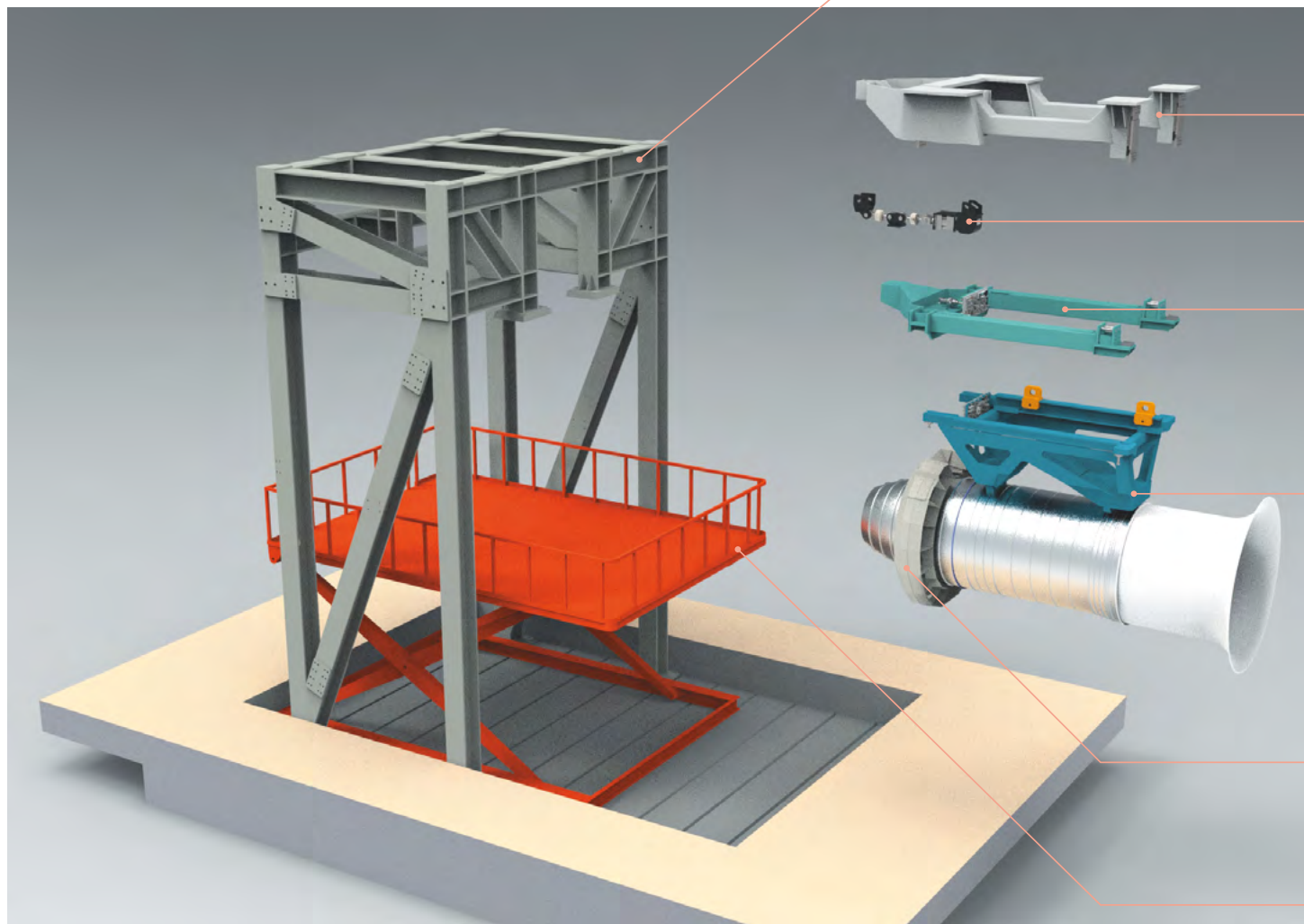
# СИС с расположением станка на несущем портале





# Компоновка СИС с расположением станка на несущем портале

Портал



Силвоспринимающая станина

Силоизмерительное устройство,  
силоградуировочное устройство

Динамометрическая платформа

Переходная монтажная рама  
(адаптер) с возможностью  
прямого крепления двигателя или  
крепления через пилон

Газоотводящее устройство  
реверсивного потока (ГУРП)

Подъемно-монтажная платформа

Компоновка СИС с верхним расположением силоизмерительного станка на несущем портале



# Компоновка СИС с расположением станка на силовом потолке

СИС ПОЗВОЛЯЕТ ПРОВОДИТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ОТ ТЯГИ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ОСТ 1 01021-93 КАК ДЛЯ СЕРИЙНОГО, ТАК И ДЛЯ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

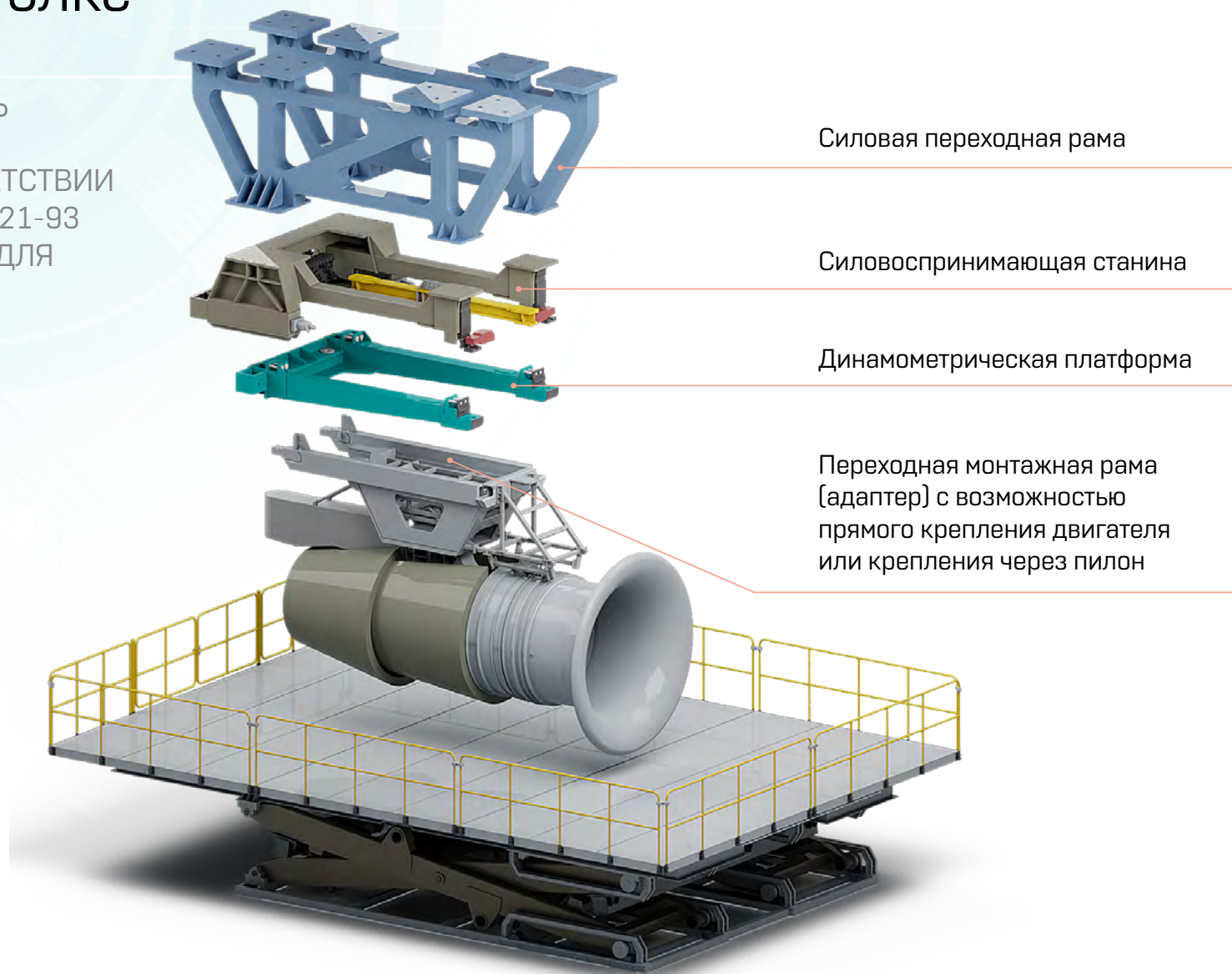
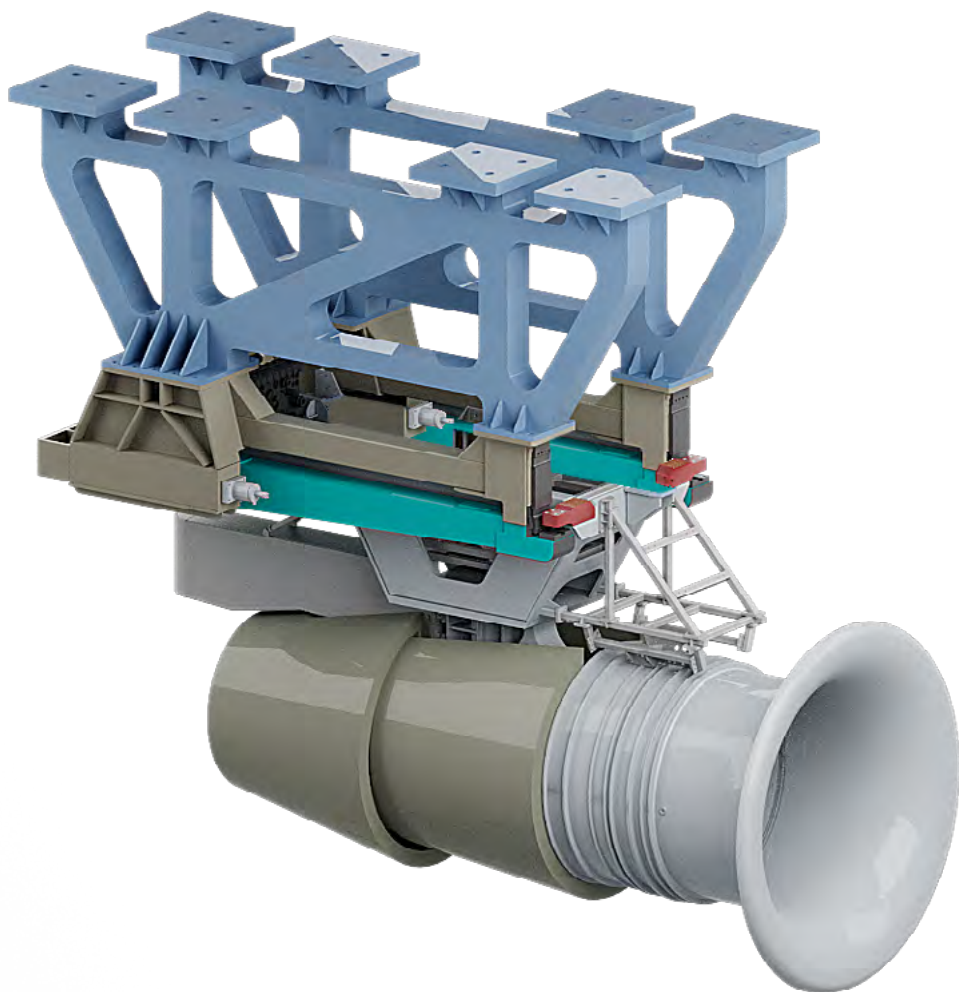


Схема сопряжений основных узлов СИС

# СИС с верхним расположением силоизмерительного станка на силовом потолке



Концептуальное представление СИС

МЕРА ПО ЗАКАЗУ ИНОСТРАННОГО ЗАКАЗЧИКА РЕАЛИЗОВАЛА СИС С ВЕРХНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СТАНКА НА СИЛОВОМ ПОТОЛКЕ.

Механическая часть СИС рассчитана на двигатели с прямой тягой до 30 тс.

Разработанная СИС отвечает всем требованиям заказчика и отраслевым стандартам.

При создании СИС осуществлялось полное моделирование всех узлов с последующей проверкой с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) и верификацией расчётов. Проведены натурные испытания СИС в цехе испытаний мехатроники МЕРЫ.

При разработке силоизмерительной системы, предназначенной для проведения испытаний авиационного двигателя, МЕРА использовала накопленный опыт и новаторские технические решения.

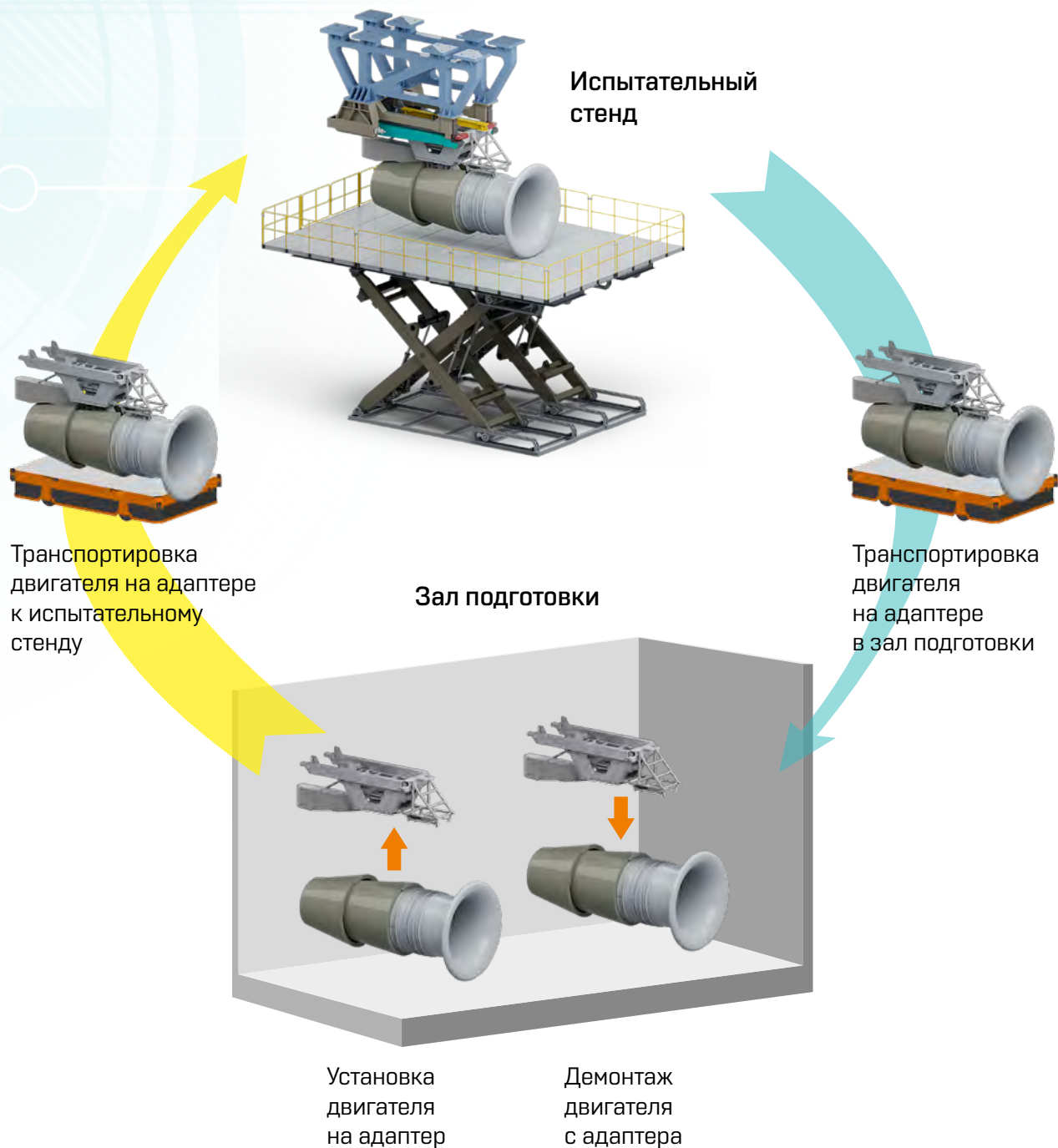


# Адаптерная система

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТЕРНОЙ СИСТЕМЫ В ИСПЫТАНИЯХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЗВОЛЯЕТ СУЩЕСТВЕННО ОПТИМИЗИРОВАТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ЗА СЧЕТ ПЕРЕНОСА БОЛЬШИНСТВА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ЗАЛ ПОДГОТОВКИ, А ТАКЖЕ ОБЕСПЕЧИВАЕТ БОЛЕЕ ВЫСОКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИС ЗА СЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ БЫСТРО ИЗМЕНЯТЬ ТИП ИСПОЛЬЗУЕМОГО ИЗДЕЛИЯ.

Применение адаптерной системы имеет ряд экономически обоснованных преимуществ:

- проведение испытаний различных типов авиационных двигателей на одном стенде
- организация циклического непрерывного проведения испытаний
- снижение издержек на эксплуатацию стенда за счет переноса части операций по подготовке авиационного двигателя к испытаниям в зал подготовки



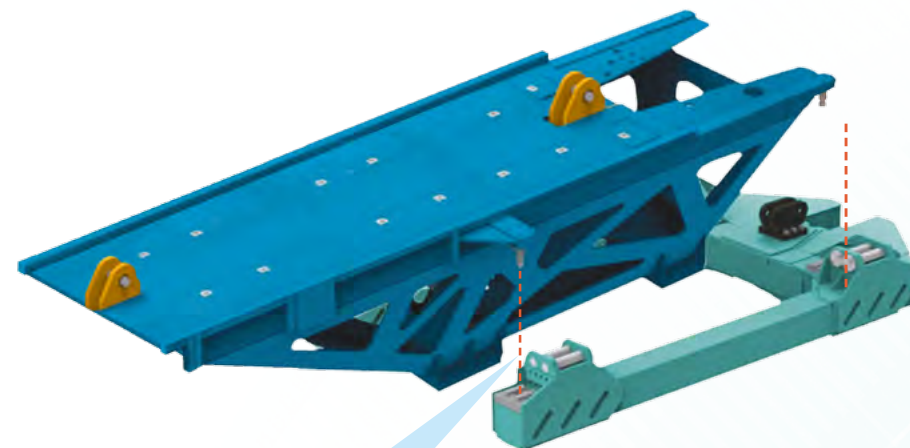


# Ключевые узлы адаптера

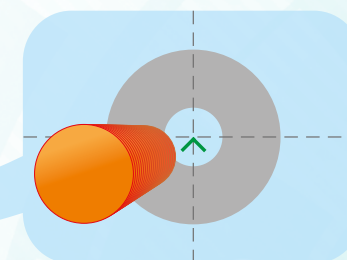
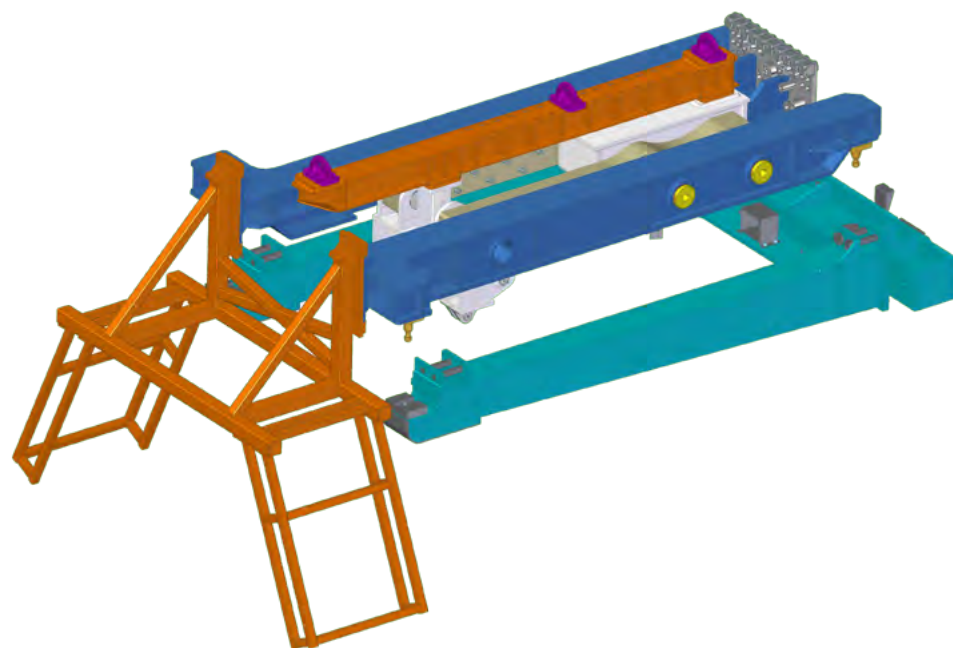
АДАПТЕРНАЯ СИСТЕМА ПОЗВОЛЯЕТ БЫСТРО И ТОЧНО УСТАНАВЛИВАТЬ ДВИГАТЕЛЬ НА СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТАНОК С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТЕРА ОТНОСИТЕЛЬНО ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ДМП).

Возможна реализация полуавтоматического режима установки адаптера.

Фиксация адаптера в ДМП осуществляется посредством замковых устройств с электрогидромеханическим приводом.



Установка адаптера на ДМП



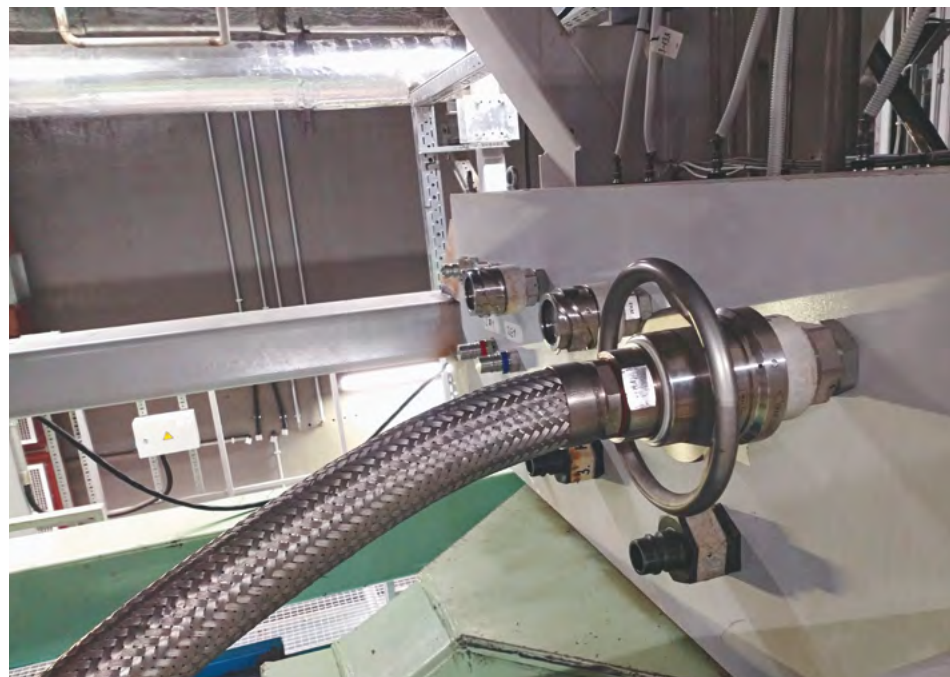
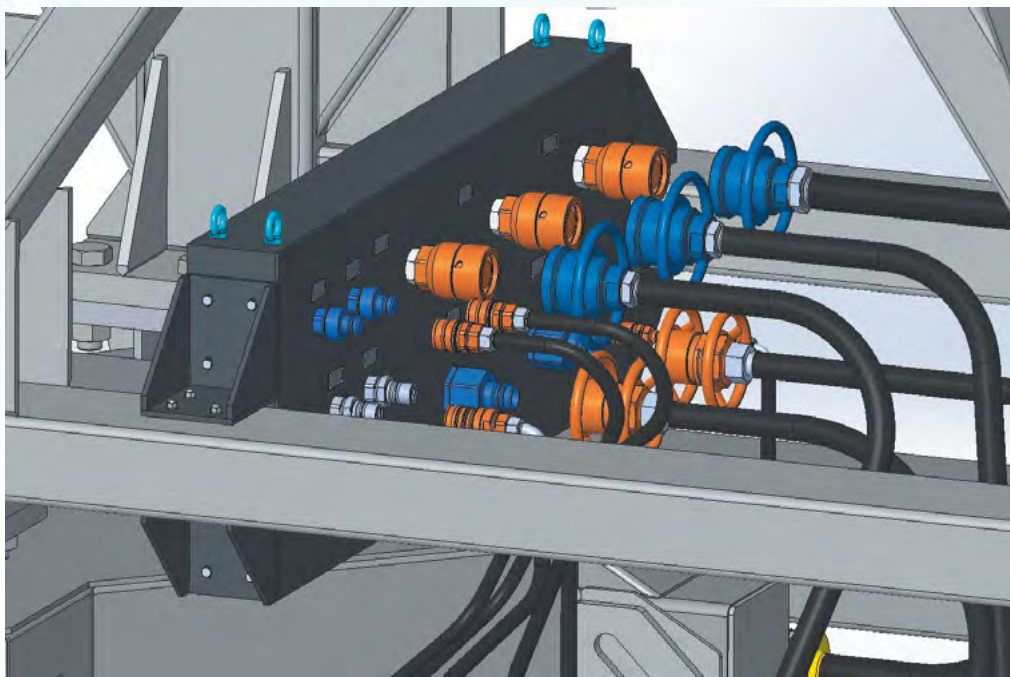
Позиционирование стыковки адаптера ДМП

Данная схема позволяет обеспечить статическую устойчивость

# Быстроразъемные соединения (БРС)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БРС ПОЗВОЛЯЕТ В СЧИТАННЫЕ МИНУТЫ ПОДКЛЮЧИТЬ ВСЕ НЕОБХОДИМЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ, ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ, ТОПЛИВО- И МАСЛОПОДАЧИ, ВОЗДУШНОГО ЗАПУСКА, СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ.

Возможно применение как ручных, так и автоматических панелей БРС.



В процессе монтажа



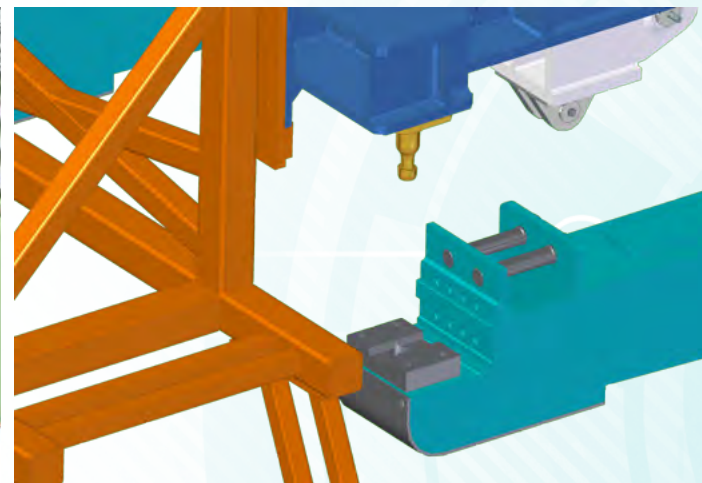
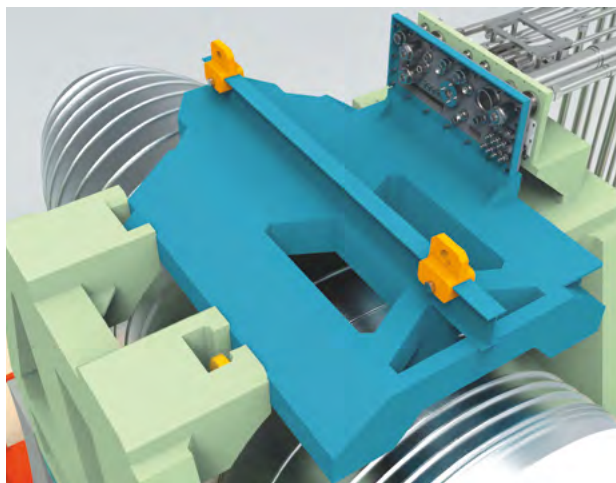
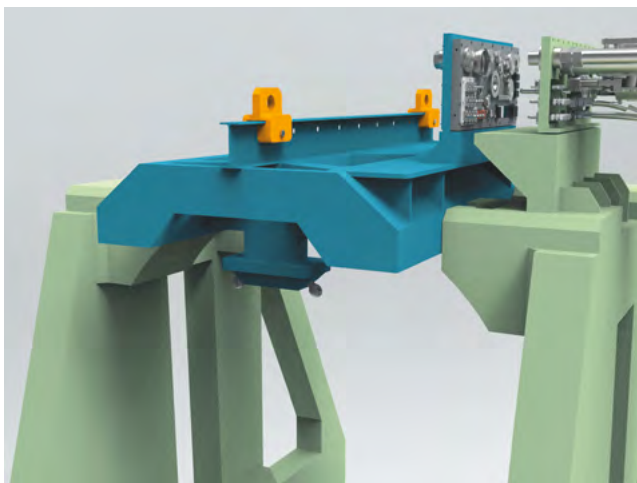
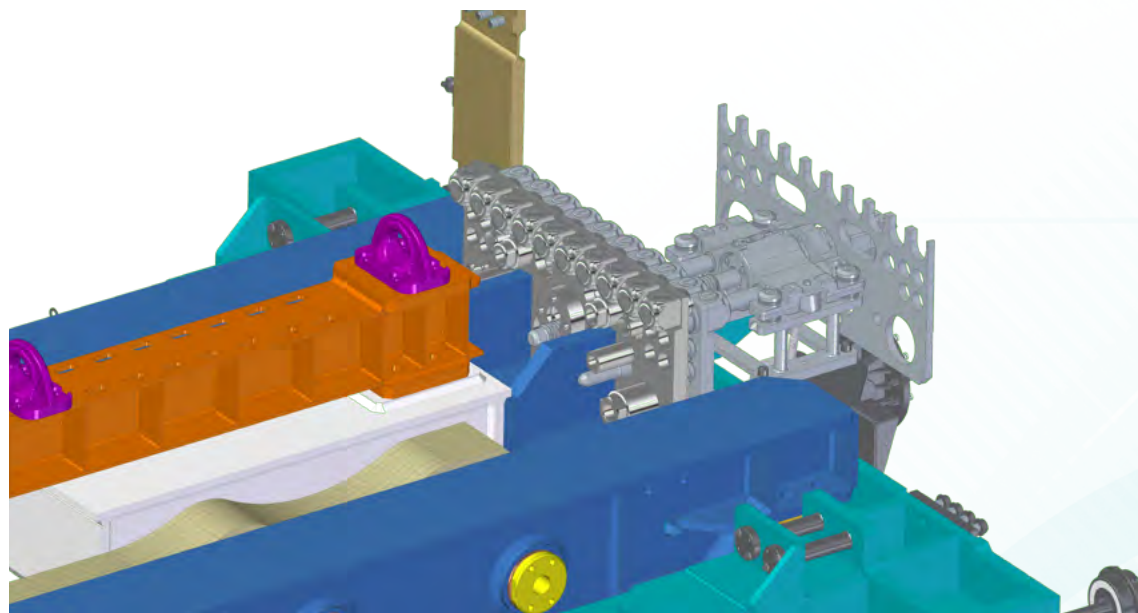
# Автоматизированная панель БРС

ДАННЫЙ ВИД БРС ПОЗВОЛЯЕТ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ОБЕСПЕЧИВАТЬ СОПРЯЖЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ МЕЖДУ АДАПТЕРОМ И НЕПОДВИЖНОЙ ЧАСТЬЮ СИС.

Могут применяться различные виды приводов:

- гидравлический
- электрический
- пневматический.

Система обеспечивает всесторонний контроль для предотвращения внештатных ситуаций.



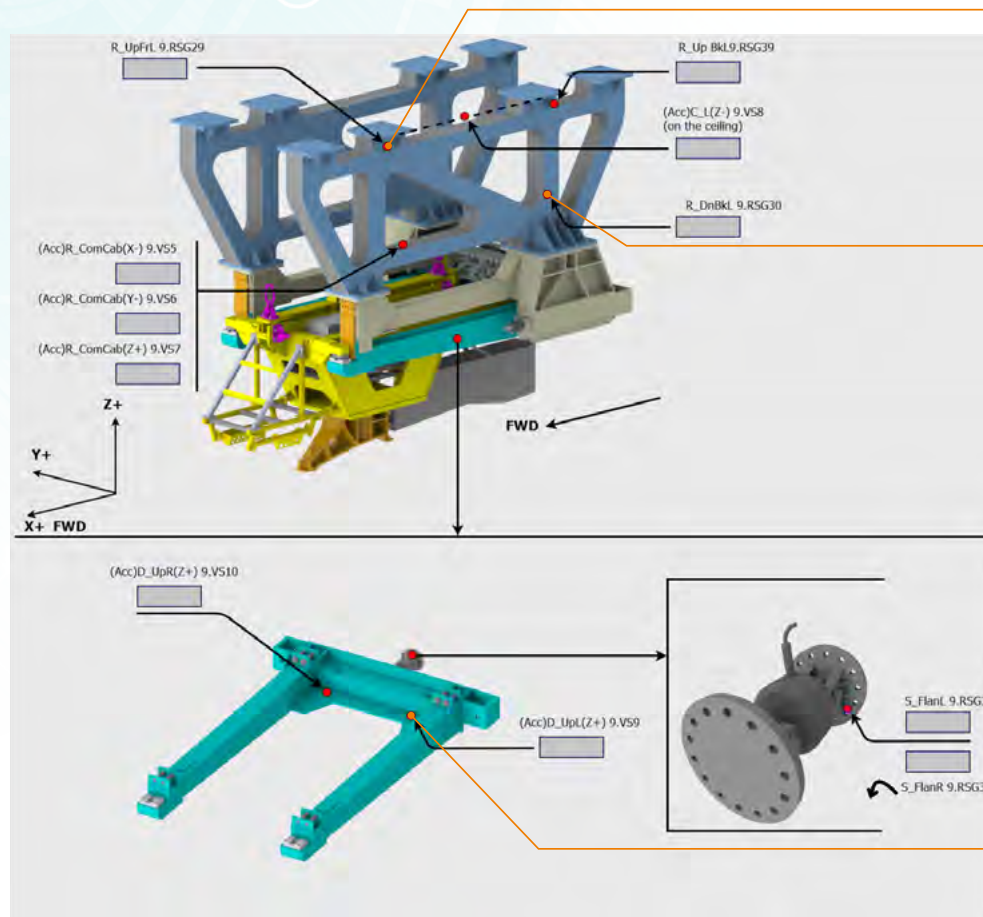
Автоматизированная панель БРС



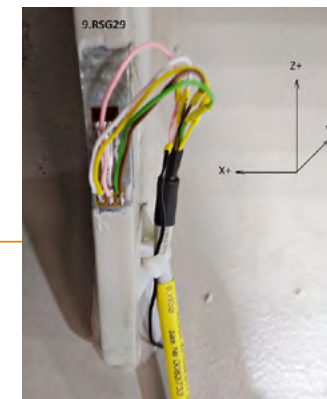
# Система контроля эксплуатационной надежности (СКЭН)

СКЭН ЯВЛЯЕТСЯ НЕОТЪЕМЛЕМОЙ ЧАСТЬЮ СИС.

СКЭН предназначена для контроля параметров механических нагрузок и связанных с ними явлений в процессе опытной и промышленной эксплуатации станда, диагностики на ранних стадиях развития усталостных явлений в конструкциях станка.



Структурная схема СКЭН



В процессе монтажа

# СКЭН

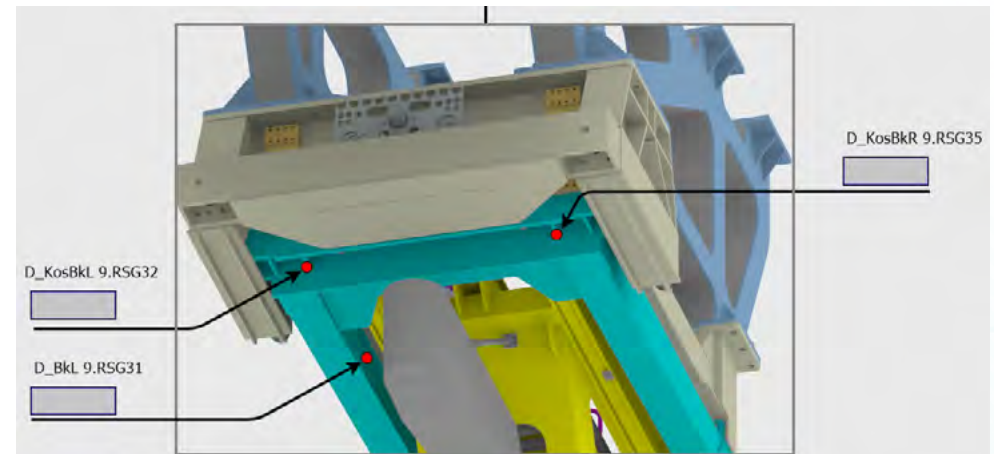
ОСНОВНОЙ ЗАДАЧЕЙ СКЭН ЯВЛЯЕТСЯ СБОР ДАННЫХ С КОНТРОЛИРУЕМЫХ ТОЧЕК В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ, ИХ АНАЛИЗ, ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ОСНОВНОГО И РАСШИРЕННОГО ПАКЕТА ДИАГНОСТИКИ, ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ПО ДОЛГОВРЕМЕННОЙ (ДО 1000 Ч.) СТАТИСТИКЕ.

СКЭН функционирует в автономном режиме, обладает независимой системой энергообеспечения. Система предоставляет интегральные оценки состояния в АСУ ТП станда.

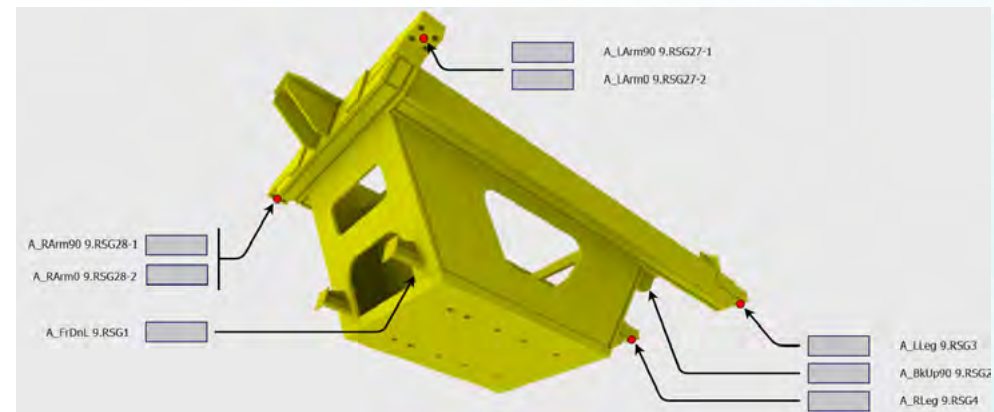
Контроль механических нагрузок на конструктивные элементы станка производится с помощью тензометрических датчиков, датчиков вибрации и температуры, устанавливаемых в местах, испытывающих наибольшие механические нагрузки. Конкретные места установки датчиков и их конфигурация определяются по результатам математического моделирования конструкции элементов станка.

СКЭН предназначен для контроля следующих тензометрических параметров:

- деформации
- вибрации
- температуры
- перемещения.



ДМП (вид снизу на установленные тензодатчики)



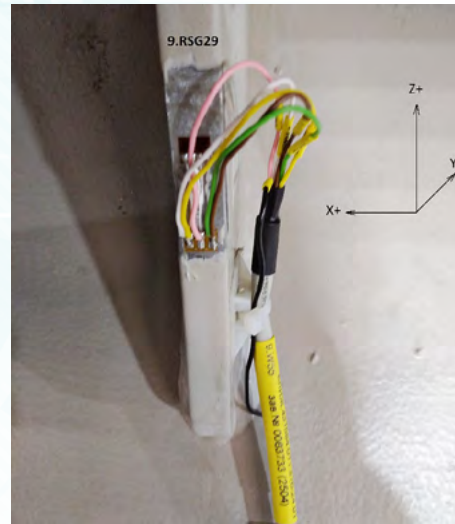
Тензодатчики, расположенные на адаптере



# СКЭН



Тензопказатели элементов конструкции (фото в процессе монтажа)



Сварочный шов



Препарирование пальцев адаптера

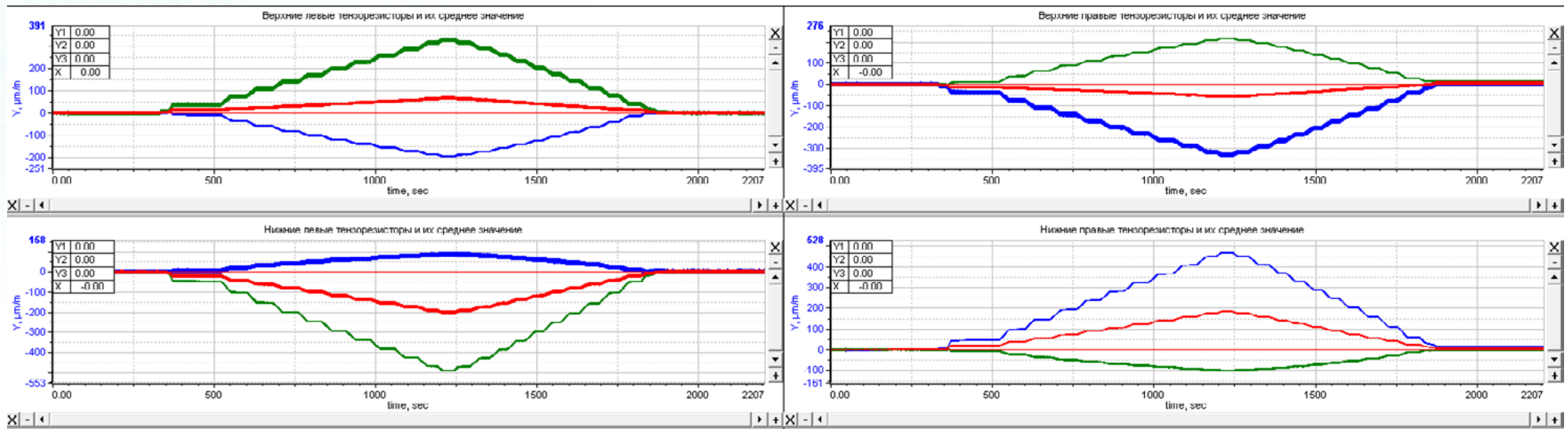


График деформации задней правой RR опоры под воздействием осевой силы до  $1,25R_{\max}$  (22,5 тс) и соответствующие им перемещения ДМП относительно станины

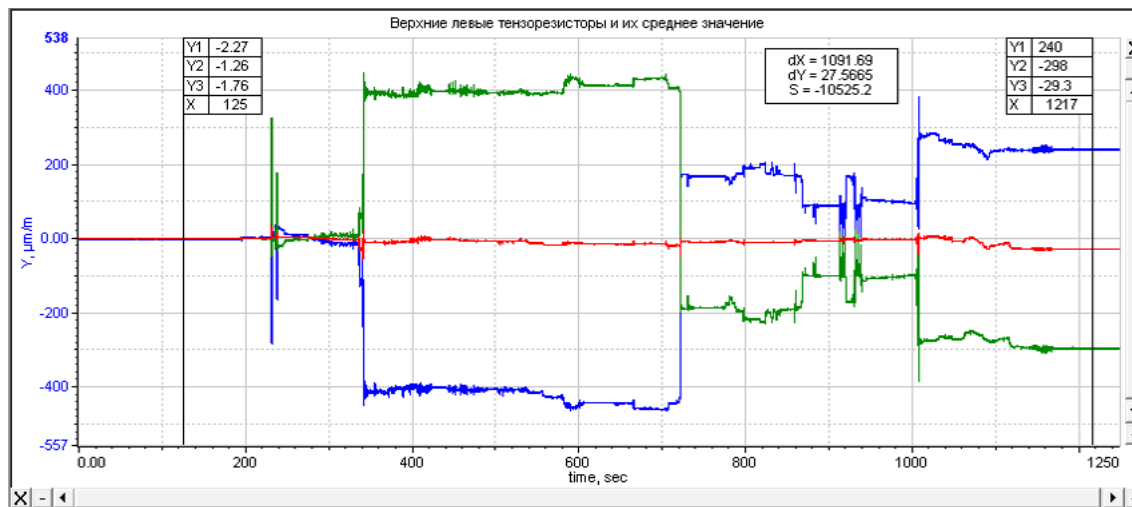
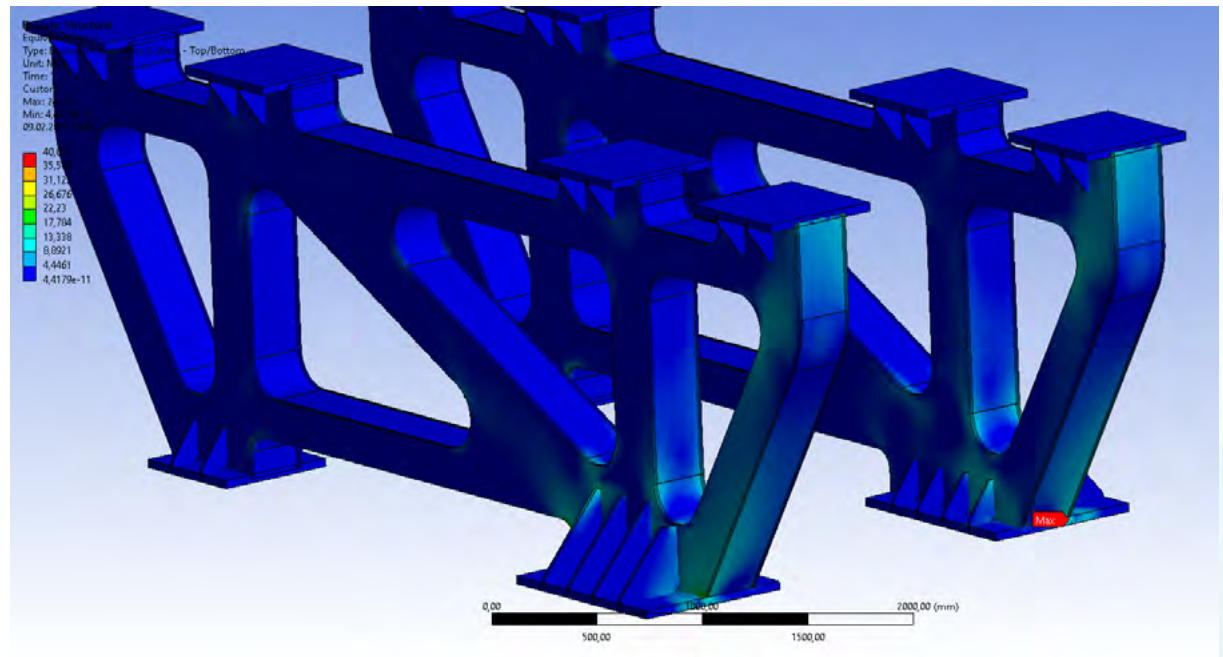


# Прочностные расчеты и математическое моделирование

При проектировании металлических конструкций СИС проводится математическое моделирование статических и динамических нагрузок и расчёт прочностных характеристик по всем возможным комбинациям нагрузок, включая аварийные.

Используются методы конечноэлементного анализа, исследования форм колебаний, расчёта усталостной прочности.

Определяются собственные частоты и соответствующие коэффициенты демпфирования.



Моделируется как штатная работа, так и всевозможные аварийные ситуации, с учётом требований безопасности.

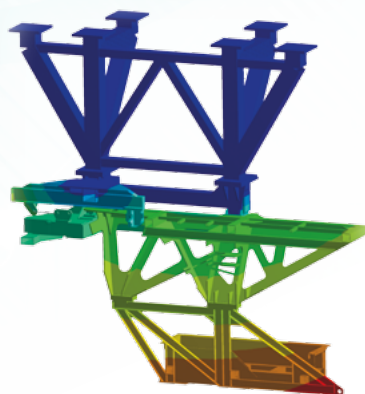
В результате математического моделирования выявляются участки конструкций, подверженные наибольшим нагрузкам. Особо ответственные узлы просчитываются с учётом высоких коэффициентов запаса прочности.

# Этапы создания испытательного стенда

ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ  
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО  
СТЕНДА МОЖНО  
УСЛОВНО РАЗДЕЛИТЬ  
НА 7 ЭТАПОВ.

## 1

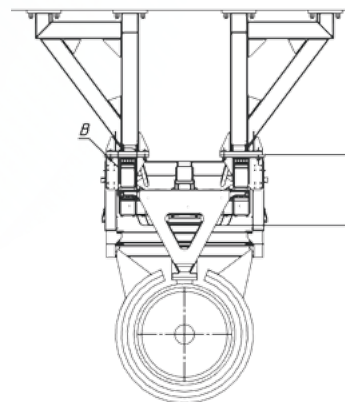
Создание цифровой  
модели.  
Прочностные расчёты.  
Верификация расчётов.



КОМПЬЮТЕРНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ

## 2

Разработка  
конструкторской  
документации.



РКД

## 3

Выбор производителя  
(более 15 заводов)

- анализ оснащения производства
- качество сварных работ
- ОТК
- документация
- цена

ПРОИЗВОДСТВО  
МЕХАНИЧЕСКОЙ  
КОНСТРУКЦИИ



Всесторонний контроль  
качества.  
Ультразвуковой контроль,  
магнитный контроль,  
капиллярная дефектоскопия.  
Использование  
высококачественных  
метизов.  
Протоколы.

# 4

Натурные испытания, оценка соответствия результатов испытания математической модели.

СБОРКА,  
ИСПЫТАНИЯ В ЦИМ

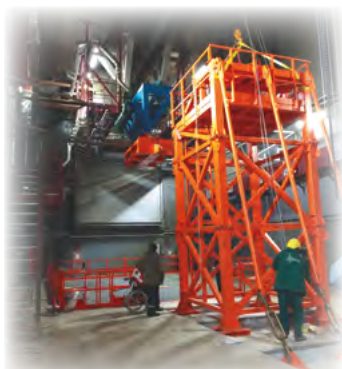


# 5

Разработка технологии монтажа – демонтажа. Наладка и испытания СКЭН (деформации, перемещения, вибрации).



МОНТАЖ  
У ЗАКАЗЧИКА



# 6

Устранение замечаний по итогам опытной эксплуатации. Аттестация стенда.



ОПЫТНАЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ



# 7

ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ



Сопровождение систем  
в течение 10 лет.



# Мотороиспытательная станция с СИС. Примеры



# Комплекс технических средств транспортировки двигателя

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ТРАНСПОРТИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ В ПРЕДЕЛАХ МОТОРОИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ПОЗВОЛЯЮТ ПОВЫСИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА, СНИЗИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ, УВЕЛИЧИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ОБЕСПЕЧИТЬ ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ.

Внедрение роботизированных тележек гарантирует бережную транспортировку грузов, имеет низкие эксплуатационные расходы и интегрируется в сеть предприятия.

Тельферы, применяемые для транспортировки двигателя, оснащены системой видеонаблюдения и цифровой системой контроля положения, что позволяет обеспечить надежность процесса установки двигателя.

МЕРА ПРЕДЛАГАЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ВАРИАНТЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ:

На основе монорельсовых полномасштабных систем



Комбинированные варианты



Автоматизированные роботизированные тележки



# Цех испытаний мехатроники

В ЦЕЛЯХ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИС МЕРОЙ СОЗДАН ЦЕХ ИСПЫТАНИЙ МЕХАТРОНИКИ, ГДЕ ПРОВОДЯТСЯ ИСПЫТАНИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ.

Особо ответственные элементы исследуются на предмет сходимости с результатами математического моделирования по статическим и динамическим нагрузкам.

Образцы материалов и крепёжных элементов, используемых при изготовлении СИС, исследуются методами разрушающего контроля. Исследования проводятся в аккредитованных на проведение данного вида испытаний организациях.

Сварные соединения контролируются современными методами контроля качества: ультразвуковой контроль, магнитный контроль, капиллярная дефектоскопия.

Осмотр цеха испытаний мехатроники в рамках научно-технического семинара (НТС) АССАД, г. Ивантеевка, 2022 г.





# МЕРА: разрабатываем, изготавливаем, внедряем, обслуживаем



Автоматизированные информационно-измерительные системы



Автоматизированные системы управления



Радиотелеметрические системы



Электродистанционные системы управления



МЕРА разрабатывает, производит и поставляет «под ключ»:


- мотороиспытательные станции
- силоизмерительные системы для авиационных двигателей
- АСУ ТП испытаний авиа- и ракетных двигателей
- средства измерений
- радиотелеметрическое оборудование



120 внедрений в эксплуатацию в год. За время работы предприятия реализовано более 3000 проектов



Более 250 заказчиков / более 30 постоянных



Группа компаний «МЕРА»  
Россия, 141002, Московская область,  
г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2, корпус 13  
Тел.: (495) 783-71-59, факс: (495) 745-98-93  
[info@nppmera.ru](mailto:info@nppmera.ru)  
[www.nppmera.ru](http://www.nppmera.ru)