



## MES МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПОЗАКАЗНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

И.С. Решетников (ИПУ РАН)

*Рассматриваются особенности системы MES мелкосерийного приборостроительного предприятия, построенной по принципу минимизации процессных изменений, интегрируемой в существующую информационную среду предприятия и адаптированной к выбранной модели организации производства. Описаны решения, применяемые при создании системы автоматизации, а также результаты промышленной эксплуатации.*

*Ключевые слова: управление производством, система управления взаимоотношениями с клиентами, приборостроение, дискретное производство, малое предприятие.*

### Введение

Задача построения систем класса MES для малых производственных предприятий неоднократно обсуждалась [1], но на практике встречается редко. Малые предприятия предпочитают использовать для учета электронные таб-лицы и ограничиваться учетными задачами. У руководства таких предприятий есть понимание, что нужно выстраивать нормальную систему управления, но они этого не делают, ссылаясь на ограниченность ресурсов [2, 3].

Рассмотрим подход к автоматизации процессов управления производством, реализованный на малом предприятии контрактного приборостроения ООО "Нефтегазсофтсервис". Подход характеризуется минимальными требованиями как к системной программно-аппаратной части комплекса, так и к изменениям в модели деятельности предприятия. Численность персонала в компании – до 10 чел.

### Описание объекта автоматизации

На предприятии реализуются следующие бизнес-процессы:

- проектирование модулей и приборов;
- разработка печатных плат;
- опытное единичное производство;
- мелкосерийное производство готовых изделий;
- отгрузка, упаковка, продажа изделий;
- ремонт, (пост)гарантийное обслуживание;
- модернизация.

Разработка печатных модулей выполняется в специализированной системе проектирования печатных плат. Закупка компонентов осуществляется силами собственных специалистов, поиск на рынке – свободный, склад компонентов – собственный. Монтаж предполагаем ручным, но введение элементов автоматизации и постов контроля тоже необходимо учесть.

Производство позаказное, по спецификации, предварительно согласованной с заказчиком. Задача системы управления и контроля производства – обеспечить прозрачный контроль и прослеживаемость всего процесса от заказа до выполнения с последующим анализом возвратов, рекламаций, обновлений, модернизаций изделий.

Распространенной особенностью малых предприятий является децентрализованная модель покрытия бизнес-процессов информационными системами: бухгалтерия, банковские и финансовые операции ведутся отдельно, продажи – отдельно, договора – отдельно, но при этом все эти операции автоматизированы и шаблонизированы практически до «одного клика», низкая вариабельность процессов позволяет это сделать. Интеграция между процессами реализована обычно на точечном обмене сылкой информацией: факт оплаты передается в монитор системы продаж, по факту завершения сделки корректируются складские запасы, формируется квитанция в систему CRM и пр. Часто подобный обмен реализован на уровне прост-ых программных роботов, а не корпоративных шин ESB. В данном проекте центральной точкой накопления всех данных и ведения реестра идентификаторов была выбрана корпоративная система управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) разработки ООО "Компания "ТЕРСИС".

Среди причин выбора именно корпоративной CRM в качестве базовой платформы, отметим результат анализа структуры заказов, в которых около 40% составляли заказы, основанные на ранее выпущенных изделиях. CRM в этих случаях обеспечивала прозрачную связку с референсным изделием, включая всю историю формирования требований, брака, отказов, ремонтов и доработок.

Ключевые требования к этой системе в контексте системы управления производством:

- возможность регистрации любых обращений;
- ведение и контроль статусов обращений;

- накопление всех фактографических данных в рамках конкретного запроса;
- возможность одновременного ведения переговоров несколькими сотрудниками;
- возможность вести "внутренние" записи и заметки.

#### Описание системы автоматизации

Целью внедрения CRM-системы является создание прозрачной процедуры согласования технических требований на изготовление изделия, сбор и накопление всех ключевых данных, необходимых для начала процесса. При этом важно, чтобы такая система не "ломала" существующий принцип формирования технических требований.

**Клиентский заказ.** По факту согласования технических требований и подписания контракта формируется клиентский заказ (КЗ) на производство, включающий минимум сведений: требуемые даты исполнения, название и код проекта, ответственный, а также важные для конкретного предприятия атрибуты. Важно, что в момент формирования КЗ получает уникальный номер, который включается во все документы в машиночитаемом виде (штрих-код или QR-код).

**Разработка и проектирование.** Рассмотрим процесс разработки схем и печатных плат, остальные процессы могут быть рассмотрены аналогично.

Первым этапом является разработка концептуальной схемы изделия: базовая платформа, оценка себестоимости, определение требований к критичным компонентам (по температуре, защищенности и пр.). При необходимости происходит корректировка базовых требований к изделию.

Для несложных изделий, а именно такие обычно заказывают у подобных компаний, разработку, как правило, осуществляет один человек в привычной ему программной среде. В результате возникает несколько рабочих наборов данных: схема разрабатываемого модуля; плата модуля; данные моделирования работы модуля в специализированных программах; микропрограммы для микроконтроллеров и правила их конфигурации; структура конфигурационных файлов.

Основной формой для запуска производства является печатная плата (ПП) модуля, которая описывается стандартным набором документов:

- монтажная схема в графическом формате;
- набор Gerber-файлов для заказа платы;
- перечень компонентов, расположенных на плате.

Плате присваивается уникальный код в рамках кода проекта, ведется история версий. Полный набор файлов, включая все исходные файлы, архивируется по факту заказа ПП, архив сохраняется в CRM-системе. Код платы с указанием версии используется и как имя архива для сохранения, и для заказа платы.

Перечень компонентов на плате, точнее файл экспорта, должен содержать две позиции: код элемента по классификатору (номенклатуры) и координаты элемента на плате. Не все среды разработки имеют отдельное поле для указания кода номенклатуры, но в большинстве слу-

чаев для этих целей вполне подойдет поле "комментарий", которое есть во всех системах. Координаты элемента не являются критичными, но они полезны в дальнейшем для обеспечения удобства сборки.

**Управление номенклатурой компонентов** - критичная и сложная задача во всех отраслях производства, но для приборостроения особенно. Существует множество различных методов и подходов к построению справочников, но они или заимствованы из других типов производства, либо имеют существенную зависимость от специфичных требований предприятия. Однако при правильном подходе эта задача может быть успешно решена с минимальными трудозатратами. Для этого требуется выполнить несколько простых шагов:

- анализируются типы используемых элементов, и определяются шаблоны кодирования;
- анализируются требуемые комбинации элементов и степень их важности, по всем случаям определяются правила расширения стандартного кода номенклатуры;
- для специфичных элементов в качестве внутреннего кода используется код изготовителя.

Шаблон кодирования должен быть простым и интуитивно понятным, например R222S0805P1 будет обозначать резистор SMD номиналом 2,2 кОм с точностью 1%, С104S0805 - конденсатор номиналом 0,1 мкФ типоразмера 0805 и т.д.

Главным преимуществом такого метода является его простота и интуитивная понятность, коды не надо запоминать или сверяться по справочнику, их просто набрать на клавиатуре с минимальной вероятностью опечатки. Типовые элементы составляют около 90% элементной базы изделия, поэтому заполнение поля «код элемента» при разработке не вызовет сложности даже без наличия преднастроенных библиотек. А для оставшихся 10% всегда есть справочник и код поставщика.

Важной задачей для предприятий приборостроения является управление номенклатурными списками, которые возникают на всех этапах: проектирование, закупка, комплектация и т.д. Типичная схема большинства MES предполагает работу с номенклатурными позициями по типу ERP-систем через учетные таблицы и формы ввода данных. Это оправдано при небольшом наборе компонентов или при высокой их стоимости, но для рассматриваемой задачи абсолютно неприемлемо по трудозатратам.

Для решения этой проблемы предложен универсальный упрощенный механизм работы со списками: каждый список представляет собой простое текстовое поле, включающее строки номенклатурных кодов с указанием их числа. Такие списки использованы на всех этапах контроля и учета. Например, строка списка реестра закупки может выглядеть так: R202E:100, что значит, что закуплено 100 ед. резисторов номинала 2 кОм мощностью 1/8 Вт. Ключевым преимуществом такого подхода является простота формирования списков при интеграции и скорость набора при ручном вводе.

Классификатор номенклатурных позиций формирует или ручную, или по факту появления новых позиций в списках. Отсутствие формального контроля соответствия

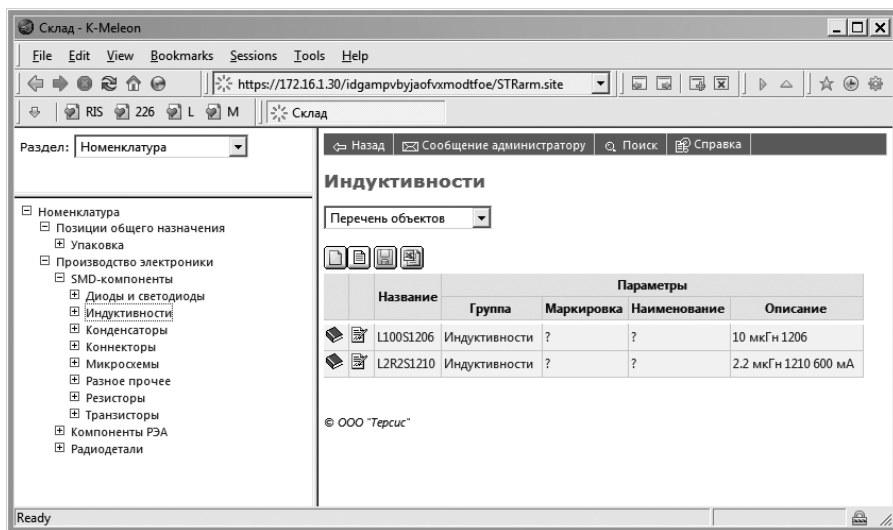


Рис. 1. Пример мастер-справочника компонентов

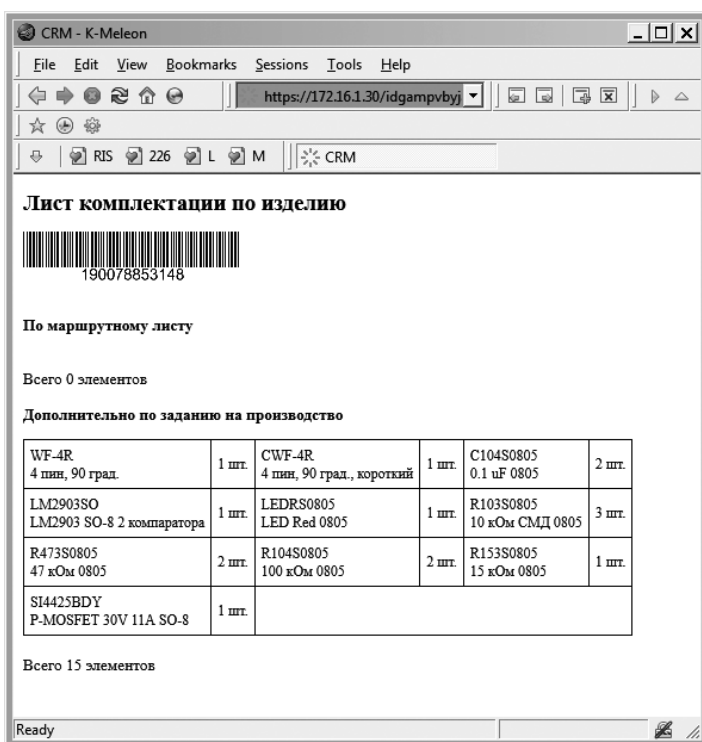


Рис. 2. Пример карты комплектации

с мастер-справочником в данной задаче является преимуществом, добавляющим гибкость: разработчик не привязан жестко к справочнику. Но контроль и правила при этом есть, он реализован следующим образом:

- имеется специальная форма, показывающая расхождения во всех списках с мастер-справочником с указанием кода позиции и кода списка (документа, содержащего список);

- формируется маркер ошибки при заполнении любых документов, где фигурируют номенклатурные позиции, в частности, стандартная контрольная форма проверки списка.

Важным фактором является возможность постепенного формирования мастер-справочника, по мере воз-

никновения потребности, а не автоматическим заполнением всех возможных вариантов. Новые значения появляются только тогда, когда они действительно необходимы, а не по прихоти разработчика, как это часто бывает. Для малых предприятий этот механизм работает идеально при условии регулярного аудита справочника.

Сам справочник компонентов является открытым для всех и доступным через отдельное приложение (рис. 1). Справочник этот должен быть расширяемый по набору параметров, чтобы при необходимости можно было вводить дополнительные данные, например,

номенклатурный код поставщика, если закупки идут преимущественно по нескольким основным каналам.

**Запуск в производство.** Начиная с данного этапа все технологические операции имеют свой код и машиночитаемую маркировку. В случае малого предприятия использование принтеров штрих-кодов и маркираторов нецелесообразно экономически, поэтому лучше использовать альтернативный вариант: предзаказанные самоклеящиеся этикетки со штрих- и/или QR-кодами в зависимости от размеров выпускаемых изделий. Для этого все рабочие места оснащены соответствующими считывателями.

Для управления процессом запуска в производство следует различать стадии тестового и серийного выпуска:

- тестовое производство: комплектация через универсальные лотки, возможны изменения в составе изделия, нет требований по 100% контролю готовности к выпуску;

- серийное: комплектация через специальные лотки, нет изменений в составе изделия, требуется контроль готовности к выпуску.

Для реализации этого разделения введено понятие карта комплектации изделия, которая представляет собой список компонентов, обычно импортируемый из системы проектирования. Карта комплектации может быть как самостоятельным документом, если процессы закупки и комплектации обособлены, так и входить в состав карты задания на производство.

В данном случае для упрощения работы с системой и максимальной ее адаптации к модели деятельности предприятия было принято решение объединить карту комплектации с некоторыми другими элементами, описывающими этапы жизненного цикла партии:

- параметры изделия для формирования паспорта;
- даты основных этапов с отметкой исполнителя (комплектация, доставка, сборка и т.п.);
- внутренняя структура изделия для сборок;
- процедуры контроля качества и др.

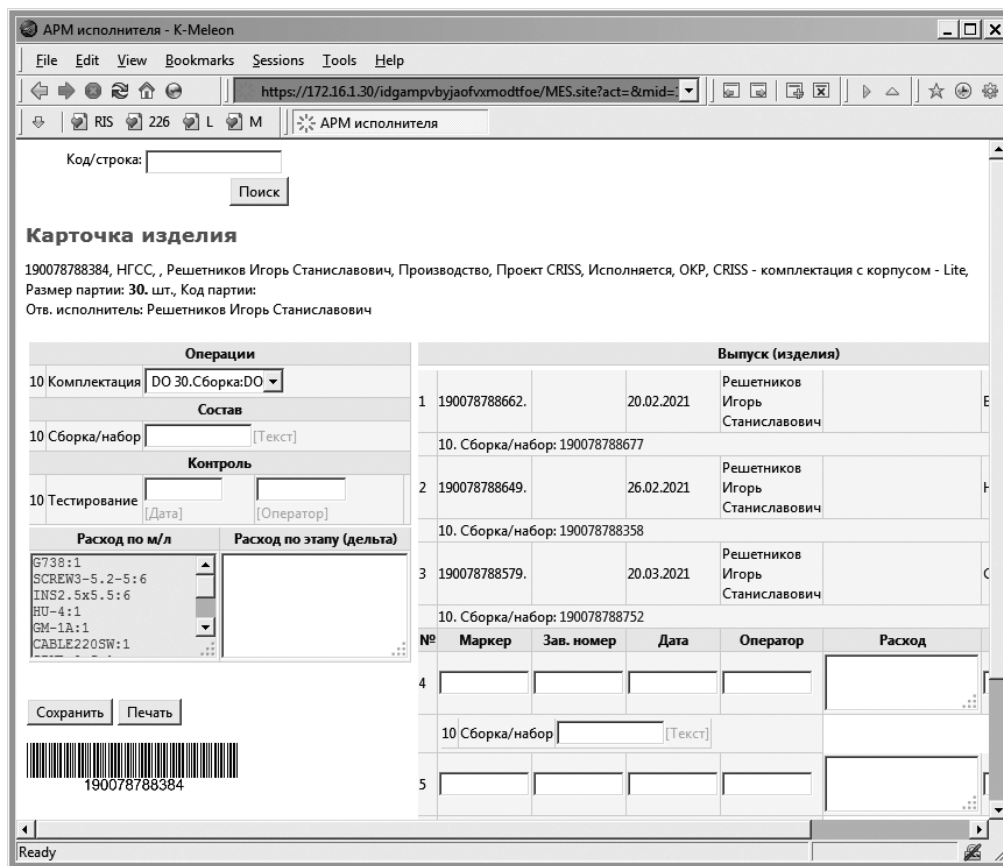


Рис. 3. АРМ исполнителя

Для их описания был разработан простой язык разметки, например, строка параметра "10.Исполнение: {Типовое|Северное|Южное}" выводит на экран выпадающий список, а выбранное значение в модуле формирования паспортов подставится на место переменной {P10}. Такое простое решение позволило сделать настройку карты производства партии максимально гибкой и связать процедуры формирования паспорта продукции с процессом производства. Параметры могут быть любого типа, в том числе идентификаторы компонентов собственного производства, числа, строки, коды партии компонентов и пр. Создание карты производства занимает не более 2 мин.

Запуск в производство сопровождается формированием задания на производство (ПЗ). Его форма унифицирована с другими документами для облегчения работы. Ее формирование имеет несколько особенностей:

- уникальный идентификатор назначается из перечня бирок, сама бирка наклеивается в бумажный журнал контроля ПЗ для быстрого доступа;
- назначается внутренний код партии, который потом может быть выведен в паспорт или бирку;
- задается количество;
- для серийных изделий задается карта производства;
- для тестовых изделий указывается расход компонентов, для серийных это поле определяет список замены компонентов, допускается указывать количество как со знаком плюс, так и минус.

Производственные заказы группируются в рамках клиентского, даты требуемого выпуска позволяют форми-

ровать рабочие графики и контролировать процесс производства (рис. 2). Выдача задания на производство унифицирована с заданием на разработку документации, проведение испытаний, даже проведения презентаций (базовые функции CRM), что позволяет управлять процессами в комплексе.

После оформления ПЗ становится доступной функция распечатки карты комплектации, которая состоит из двух частей: набора стандартного лотка по производственной карте и "дельты" по конкретному заданию. "Дельта" может содержать и изменения, возникшие по факту комплектации. Пример такой карты показан на рис. 2, в данном случае это тестовое изделие без

предназначенной производственной карты. Если позиция отсутствует в номенклатурном справочнике, будет показана ошибка. На практике такого упрощенного механизма контроля корректности данных оказалось вполне достаточно. В реализованном проекте карта комплектации являлась и сопроводительным документом, штрих-код обеспечивает быстрый доступ к данным ПЗ.

**Контроль процесса производства** распадается на две задачи: контроль укрупненных показателей по карте производства и индивидуальный контроль выпускаемых изделий. Для этого служит специальный АРМ исполнителя, выполненный в формате отдельного приложения (рис. 3). Это приложение имеет несколько особенностей, основные заключаются в том, что считывание штрих-кода является единственным способом управления и разделены зоны ответственного за процесс в целом и сборщика.

Типичный процесс учета выпуска изделия состоит в следующем:

- считывается код ПЗ сопроводительной карты комплектации - открывается рабочий экран;
- считывается предварительно наклеенный на изделие код (заранее напечатанная этикетка);
- считывается отдельный заводской номер (специальная бирка с номером и штрих-кодом);
- наладчик считывает свой идентификационный штрих-код с карты доступа;
- считывается текущая дата со штрих-кода рядом с экраном;

• считываются коды составляющих компонентов изделия (коды своих модулей и номера критичных компонентов, например, процессора).

Вся процедура занимает около 30 с. Поскольку возможности прямого ввода нет, то исчезает необходимость разделения экранов по правам доступа. Ввод данных возможен только через рабочее место ответственного за выпуск партии (мастер цеха), таким образом мастер всегда в курсе всех отклонений.

По каждому выпущенному изделию можно указать "дельту" по фактическому расходу компонентов (если, например, что-то повредилось) и комментариев. Введенные данные можно исправить с рабочего места мастера, ведется полный лог всех изменений.

Контроль состава изделия распространяется как на партию в целом, так и на конкретное изделие. Например, для сборки прибора из трех компонентов собственной сборки в структуре изделия на уровне ПЗ указываются номера каждого из трех ПЗ изготовления соответствующих модулей. Таким образом обеспечивается прослеживаемость связанности ПЗ на этапе, когда изделия еще не выпущены.

Когда изделие помечается как изготовленное, расход компонентов по нему попадает в расчет остатков по складу, что обеспечивает 100% контроль в реальном времени остатка компонентов. Доступные запасы по складу считаются с учетом плана производства и плана закупок (при его наличии). Для этого можно указывать закупки будущей датой, это не ошибка, это планируемая поставка.

#### Обсуждение результатов проекта

Описанный процесс достаточно универсальный, он легко адаптируется к другим процессами выпуска, например, упаковка, формирование отгрузочных наборов и пр. Полная связь с CRM-системой обеспечивает обратную связь с заказчи-ком, а в случае выписанного через Internet счета - трекинг процесса производства.

В системе фиксируются все важные контрольные точки процесса производства, а уникальность кодов обеспечивает универсальный механизм доступа к любым сводкам и ресурсам по простому считыванию кода. По этому коду открывается карточка изделия, ПЗ, КЗ, отчет по сотруднику, по номенклатурному компоненту, даже по конкретной дате.

*Решетников Игорь Станиславович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник ИПУ РАН.  
Контактный телефон (916) 671-19-74.  
E-mail: i.reshetnikov@mescenter.ru*

*Цель не обязательно должна достигаться. Порой это просто направление двигаться дальше.*

Брюс Ли

При работах, связанных с модернизацией или ремонтом изделия, код изделия указывается в параметрах ПЗ, за счет чего можно отследить весь жизненный цикл изделия. Разукomплектовка/перекomплектовка изделий на уровне модулей тоже легко отслеживается по иерархии дат.

#### Заключение

В ООО "Нефтегазсофтсервис" за 3 мес. были налажены 100% учет комплектующих даже на уровне отдельных SMD-компонентов, 100% маркировка продукции, автоматизировано формирование паспортов продукции и прослеживание процесса от заказа до отгрузки. Кроме этого, была осуществлена интеграция с системой Internet-заказов, позволяющая отследить заказ по номеру счета, накладной, по трек-номеру почтового отправления. Система объединила два склада и две сборочные площадки - тестовую и серийную, минимизировав передачу компонентов между ними и сведя к нулю задержки из-за несоординированности действий.

Решение получилось прозрачным, эффективным и вполне тиражируемым. Аналогичный подход для средних и крупных предприятий рассмотрен ранее [4].

#### Список литературы

1. Анисимов Д.Е., Козлецов А.П., Решетников И.С. MES малых форм или зачем это малому бизнесу? // Автоматизация в промышленности. 2010. № 8. С. 15-18.
2. Артемов А. Цифровое производство с использованием систем APPIUS-PLM и 1C:MES на платформе "1С:ПРЕДПРИЯТИЕ" // САПР и графика. 2019. № 9 (275). С. 18-23.
3. Решетников И.С. MES: стратегическая инициатива. М. НГСС. 2019.
4. Абакумов Е.М., Кожневиков Н.О. и др. Информационное обеспечение рабочих мест производственного персонала приборостроительного предприятия // Автоматизация в промышленности. 2020. № 5. С. 49-54

#### Пассивные экзоскелеты от Магнитогорского металлургического комбината

23-26 марта 2021 г. в Москве, на территории конгрессно-выставочного комплекса гостиницы «Космос» прошел 24-й международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед». Среди постоянных участников отметим ПАО «ММК».

В этом году международное жюри конкурса отметило серебряной медалью полезную модель «Пассивный экзоскелет», относящуюся к устройствам, облегчающим перемещение грузов и предназначенным для усиления физических возможностей человека и повышения безопасности при работе в условиях тяжелого физического труда. Экзоскелеты были созданы по инициативе руководства ПАО «ММК» для представителей самых трудоемких металлургических специальностей, таких как дровяные

коковых батарей или горновые доменного цеха. Пассивные промышленные экзоскелеты позволяют кардинально снизить нагрузки на коленный, плечевой, тазобедренный и локтевой суставы, поясничный отдел позвоночника, а также существенно повышают производительность труда работников.

Созданные модели экзоскелетов успешно прошли апробацию в условиях действующей производственной площадки Магнитогорского металлургического комбината и сегодня выходят на рынок как коммерческий продукт. В 2020 г. реализовано 157 пассивных экзоскелетов. Проведено более 70 успешных испытаний промышленных пассивных экзоскелетов на промышленных площадках крупнейших российских предприятий.

[Http://mkk.ru](http://mkk.ru)