

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

КЭНДЗИ МУРАТА (KENJI MURATA)

ОЛЬГА ВЕЧКАНОВА

Automation@mermee.com



В статье описывается назначение и управление системой датчиков усилия, являющейся наиболее важной из всех интеллектуальных систем, а также приводится пример использования подобной системы в конструкции промышленных роботов.

В свете глобальной конкуренции промышленные роботы находят все более широкое применение в производственных системах следующего поколения. Перечисленные далее факторы объясняют подобное развитие событий:

- необходимость в росте доли автоматизированных систем на предприятии с целью стабильного обеспечения производства рабочими мощностями;
- сдвиг в сторону гибких производственных систем в условиях

диверсификации потребительских вкусов и вызванный этим рост мелкосерийного производства;

- запрос на недорогие производственные системы для работы в кратковременных режимах;
- потребность в автоматизации сложных рабочих процессов, таких как сборка с высокой точностью, перемещение каких-либо объектов с особой осторожностью и высокоскоростная обработка. Однако подобные технологические операции трудно поддаются

автоматизации, поэтому необходимо создать интеллектуальную систему, в которой бы использовались различные типы устройств, например датчики усилия и датчики изображения.

Для удовлетворения указанных требований на заводе компании Mitsubishi Electric в г. Нагоя была разработана гибкая производственная система для автоматизированной сборки термореле с использованием робота, оснащенного интеллектуальной функцией (рис. 1).

НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РОБОТОВ

Функция силовой чувствительности ответственна за степень усилия, прилагаемого роботом при осуществлении какой-либо операции. Информация для проведения такой роботизированной операции поступает от датчика усилия с шестью степенями подвижности. Описываемая функция может использоваться для выполнения сложных рабочих операций, требующих точной регулировки/измерения усилия и снижения трудозатрат на обучение робота, что было невозможно вплоть до настоящего времени. Система регулирования силовой чувствительности отличается следующими основными особенностями:

1. Обеспечивает плавное управление и перемещение робота в процессе сборки, что облегчает установку деталей машин с высокой точностью.
2. Благодаря тому что робот способен перемещаться в любом

направлении, действуя на объект с постоянной силой, он может использоваться для выполнения таких технологических операций, как полировка и шлифовка поверхности.

3. Плавность перемещения и степень восприятия контактной информации робота могут изменяться в процессе его движения. Как пример: при выполнении технологической операции по установке пальцев, когда плавность перемещения робота изменяется, чувствительность регулируется, что помогает избежать повреждения поверхности детали в начальной стадии ее установки. Далее, используя менее чувствительный режим управления системой, осуществляется плотная посадка пальца в деталь.
4. Система позволяет считывать условия контакта робота с объектом, подавать прерывающие сигналы и изменять траекторию перемещения робота. То есть, с помощью измерения усилия, которое способно повредить деталь, данная функция позволяет устранить ошибку посред-

ством изменения направления перемещения.

5. В момент касания могут быть получены данные о положении и усилии, благодаря чему при контакте позиционирование может быть определено с высокой точностью. Кроме того, существует возможность проверки состояния контакта между обрабатываемой деталью и рукой манипулятора, которое крайне трудно проконтролировать в процессе обучения робота, что позволяет сократить трудозатраты в процессе обучения.
6. Синхронизированные данные по позиционированию и величине усилия можно сохранить в виде данных журнала событий и отобразить на графике с использованием компьютерного программного обеспечения RT ToolBox2, что особенно полезно при проведении анализа ошибок.
7. Данные журнала событий могут автоматически передаваться на персональный компьютер через FTP-сервер для записи в базу данных. Впоследствии такие дан-

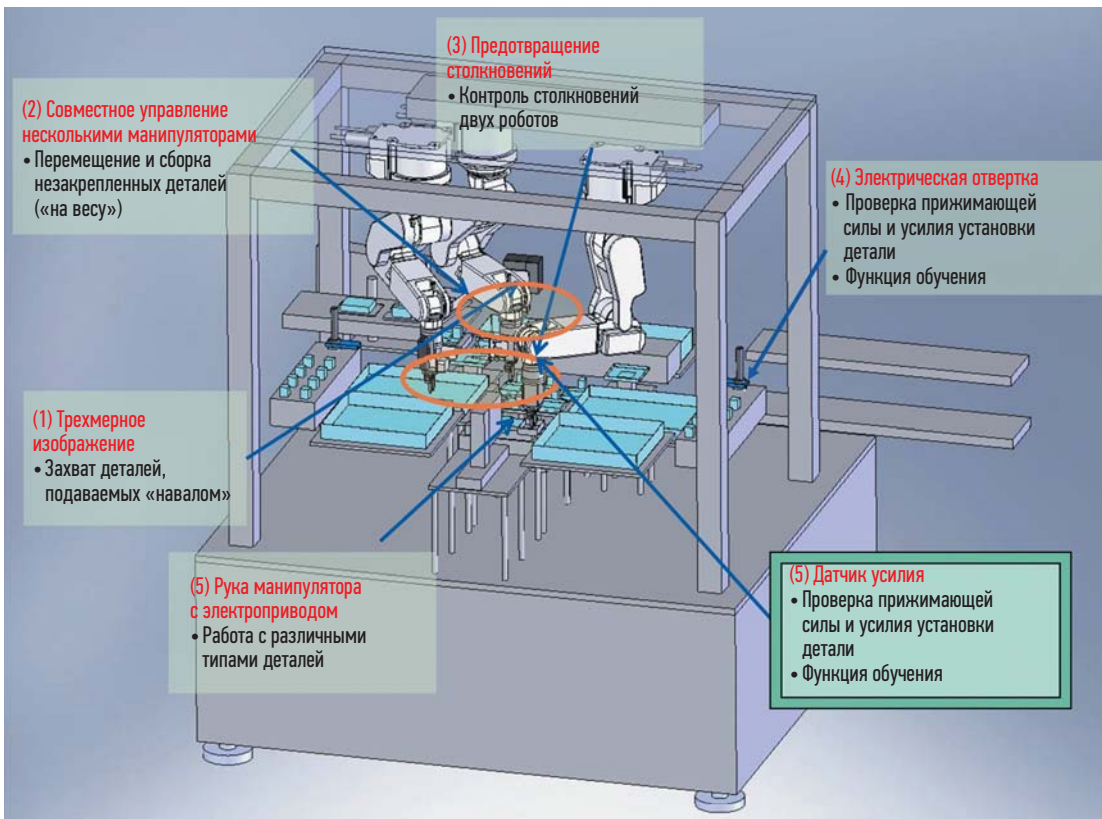


РИС. 1. ◀ Гибкая производственная система с применением робота (Международная выставка роботов 2011 г.)

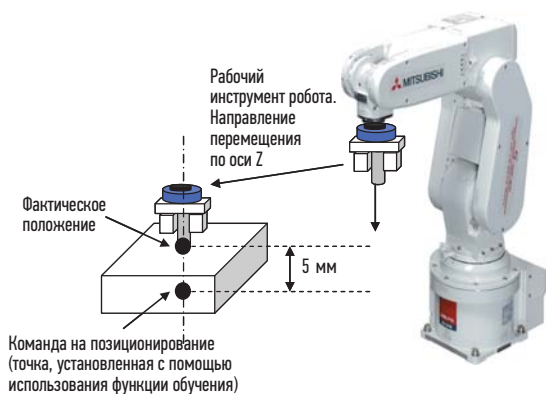


РИС. 2. ▲
Регулирование жесткости

ные могут использоваться для контроля качества сборки.

8. Если по полученным данным величина усилия выходит за установленные пределы, может быть произведено отключение робота с целью защиты детали и датчика усилия.

Функция регулирования силовой чувствительности обеспечивает управление роботом для достижения заданных значений противодействующей силы и плавности контакта при соприкосновении робота с другими объектами.

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЯ (КОНТРОЛЬ СИЛЫ ЗАХВАТА)

Если в системе регулирования чувствительности задано значение управления по усилию, и функция регулирования усилия активирована, робот функционирует в автономном режиме, корректируя позицию с целью достижения противодействующей силы [N], соответствующей величине, предварительно установленной указанной командой управления. Если же внешняя сила не действует на робота (отсутствие контакта между роботом и объектом), он работает в направлении, противоположном тому, что было задано с помощью введенного значения управления по усилию. В этом случае рабочая скорость будет пропорциональна коэффициенту регулирования силовой чувствительности (см. далее).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ (КОНТРОЛЬ ПЛАВНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ)

С помощью функции регулирования жесткости устанавливается

плавность перемещения робота с использованием коэффициента жесткости. Чем выше значение коэффициента, тем менее плавным будет перемещение робота, и наоборот.

На рис. 2 показан пример, когда регулирование жесткости осуществляется только по оси Z перемещения рабочего инструмента робота. Если коэффициент жесткости по оси Z равен 0,5 Н/мм и точка (установленная с помощью функции обучения) располагается на 5 мм ниже поверхности контакта, сила F , возникающая на контактной поверхности, составляет:

$$F = 0,5 \text{ Н/мм} \times 5 \text{ мм} = 2,5 \text{ Н.}$$

НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Для точной настройки силовой чувствительности необходимо ослабить величину отклика системы регулирования (уменьшить коэффициент регулирования силовой чувствительности) и подавить вибрацию (увеличить коэффициент демпфирования).

КОЭФФИЦИЕНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Данный коэффициент представляет собой параметр, предназначенный для корректировки силы отклика системы регулирования силовой чувствительности. Чем выше заданное значение коэффициента, тем больше интенсивность отклика системы на команду управления по усилию и на данные жесткости объекта (таблица 1). Однако при слишком высоком значении коэффициента рабочее состояние переходит в нестабильное вследствие гиперчувствительной реакции в момент контакта.

ТАБЛИЦА 1. ПРИМЕР УСТАНОВКИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Жесткость объекта, Н/мм	Коэффициент регулирования силовой чувствительности
1	100
10	8
100	0,25

Поскольку на коэффициент регулирования силовой чувствительности оказывает влияние жесткость контактирующего объекта, с учетом этого влияния желательно изменить значение коэффициента. Однако если коэффициент равен нулю, корректировка с помощью функции регулирования силовой чувствительности не представляется возможной, а вместо этого выполняется стандартная команда на позиционирование. Следовательно, при изменении значения коэффициента в процессе выполнения технологической операции можно переключаться из режима регулирования жесткости к позиционному управлению и наоборот.

ПРИМЕР НАСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

1. В режиме толчковой подачи (JOG) перемещать робот с малой скоростью (скорость толчковой подачи $\approx 5\%$) в продольном направлении с активацией функции регулирования силовой чувствительности (регулирование с помощью значения управления по усилию или жесткости) и дать роботу коснуться поверхности рабочего объекта.
2. Уменьшить коэффициент регулирования, если это оказывает обратное действие на поведение робота в направлении, противоположном направлению перемещения робота в момент контакта.

КОЭФФИЦИЕНТ ДЕМПФИРОВАНИЯ

Если при регулировании силовой чувствительности (в режиме регулирования с помощью значения управления по усилию или жесткости) наблюдается вибрация

ТАБЛИЦА 2. ПЕРЕЧЕНЬ ФУНКЦИЙ СИЛОВОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ

Классификация функций		Описание
Силловая чувствительность	Сигнал прерывания	Контроль состояния с учетом заданного значения силовой чувствительности. (Получение нарастающих и уменьшающихся по интенсивности сигналов для заданного значения силовой чувствительности.)
	Фиксация данных	Сохранение показаний датчиков и значений о положении в момент превышения заданного значения силовой чувствительности.
Регулирование усилия (ТВ)	Контактная чувствительность	Останов толковой подачи при превышении заданного значения силы (момента).

робота, проводится корректировка коэффициента демпфирования. Чем выше значение коэффициента, тем значительнее эффект подавления вибрации. Однако при внезапном изменении усилия в момент контакта робота с рабочим объектом корректирующее действие осуществляется с задержкой, поэтому сила, действующая на объект, увеличивается. После того как будет выполнена вышеупомянутая коррекция коэффициента регулирования силовой чувствительности, фактическая установка коэффициента демпфирования изменяется в требуемом направлении.

ФУНКЦИЯ И МОНИТОРИНГ СИЛОВОЙ ЧУВСТВительности

Функции силовой чувствительности могут быть заданы, как показано в таблице 2. Указанные функции позволяют задавать перемещение робота, уменьшать трудозатраты на обучение с использованием данных о силовой чувствительности и регистрировать указанные данные.

ЛЕГКОСТЬ ОБУЧЕНИЯ РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ СИЛОВОЙ ЧУВСТВительности

Если в процессе регулирования силовой чувствительности измененное значение превышает предельно заданную величину, толчковая подача автоматически прерывается, и подается звуковой сигнал зуммера для оповещения оператора. Это обеспечивает защиту обрабатываемой детали и датчика усилия. Кроме того, для визуального распознавания может быть изменен цвет области отображения

данных датчиков усилия в рабочем окне обучения робота.

Процесс обучения также упрощается за счет плавного управления роботом с использованием функции регулирования жесткости. Этот метод используется для создания обученной точки для завершения установки детали в процессе моделирования роботом формы установки.

ФУНКЦИЯ КОНТРОЛЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВительности

Функция контроля силовой чувствительности может использоваться для отображения в режиме реального времени текущего и максимального значения датчика усилия. Например, можно обеспечить заучивание роботом позиции посредством наблюдения за состоянием контакта робота с обрабатываемой деталью и просмотра данных, отображаемых на мониторе системы регулирования силовой чувствительности. На мониторе также имеется экран редактирования параметров силовой чувствительности с удобной функцией подтверждения изменений и настроек режимов регулирования и контрольных характеристик (рис. 3).

ФАЙЛ РЕГИСТРАЦИИ И ФУНКЦИЯ ПРОСМОТРА (ПРОГРАММА RT TOOLBOX2)

Что касается файла регистрации данных силовой чувствительности, зависимость между положением и силой можно легко отобразить на графике путем нажатия клавиши в главном экране программы ToolBox2 RT системы (рис. 4). Кроме того, при помощи особой команды файлы с зафиксированными

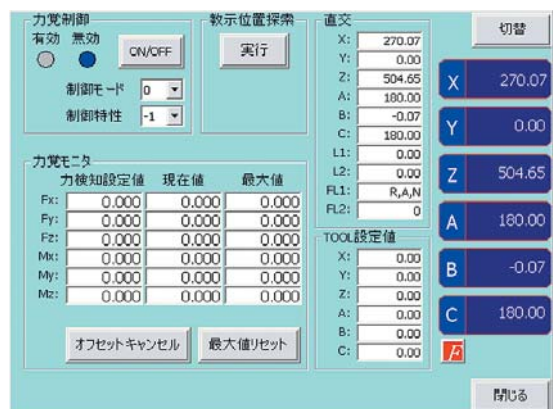


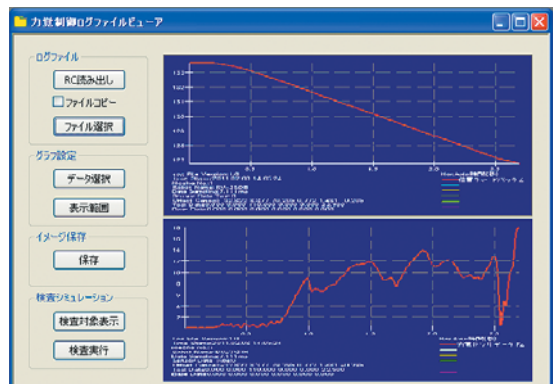
РИС. 3. ▲ Экран мониторинга силовой чувствительности

данными могут быть перенесены с контроллера робота на персональный компьютер через FTP-сервер. Впоследствии эти данные могут использоваться для контроля качества сборки.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВительности

На рис. 5 показана блок-схема системы регулирования силовой чувствительности. В процессе обработки показаний осуществляется прием сигналов датчиков уси-

РИС. 4. ▼ Экран файла регистрации данных силовой чувствительности



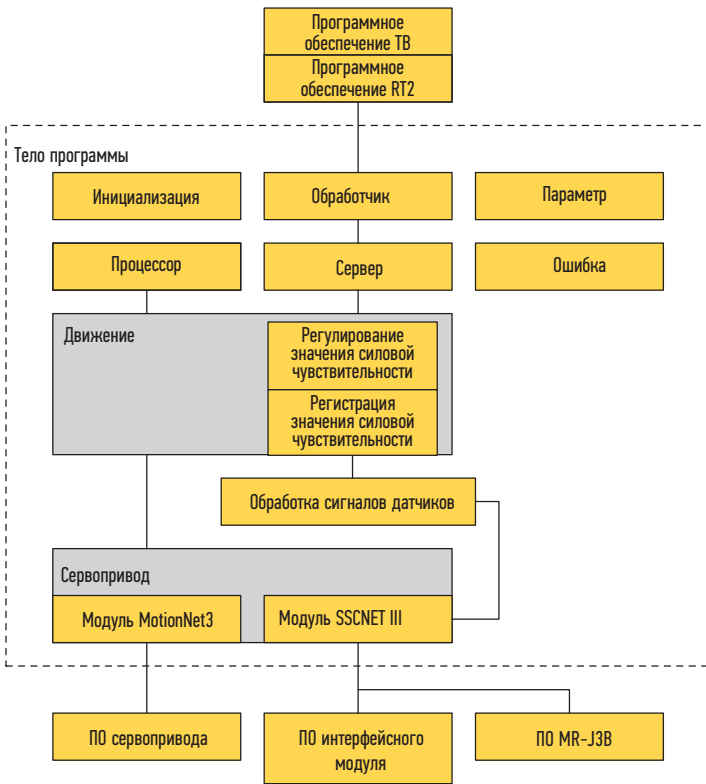
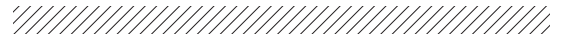


РИС. 5. ◀ Структура системы программного обеспечения

РИС. 6. ▼ Блок-схема процесса управления

лия от программы интерфейсного модуля системы регулирования силовой чувствительности через высокоскоростную сеть управления движением SSCNET III; эти данные используются для регулирования силовой чувствительности. Их регистрация осуществляется в режиме реального времени в устройстве управления движением программы управления роботом (рис. 5). Процесс управления показан на рис. 6.

Процесс регулирования силовой чувствительности корректируется, для чего используются последние значения, полученные от датчиков усилия для подачи команды на позиционирование, выработанной для той или иной задачи движения робота, с последующей выдачей данных на сервопривод. Сигнал датчиков усилия передается в циклическом режиме по каналам сети SSCNET III. Для того чтобы в процессе регулирования силовой чувствительности всегда имелись в наличии самые последние данные, осуществляется циклическая обработка получаемых от датчиков значений, и к ранее полученным значениям добавляются новые. Полученные данные, а также допустимые значения подвергаются обработке.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Операция установки

При снижении жесткости при движении в горизонтальной плоскости операция установки осуществляется в направлении установки детали (рис. 7). Если в момент установки усилие превышает заданную величину, может быть подан сигнал ошибки для прерывания процесса движения. Это облегчает операцию установки и процесс обнаружения отклонений.

Операция полировки

Перемещаясь по оси Y, робот осуществляет поиск объекта (рис. 8). Когда рабочий инструмент находит объект, он начинает

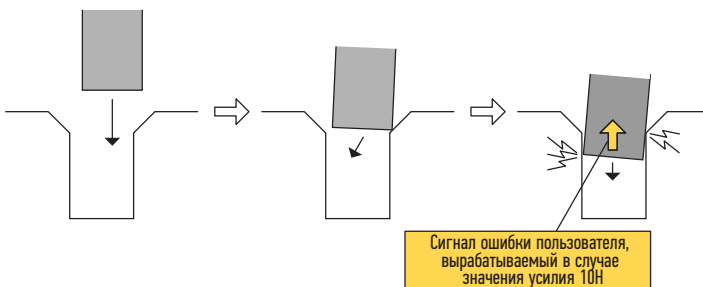
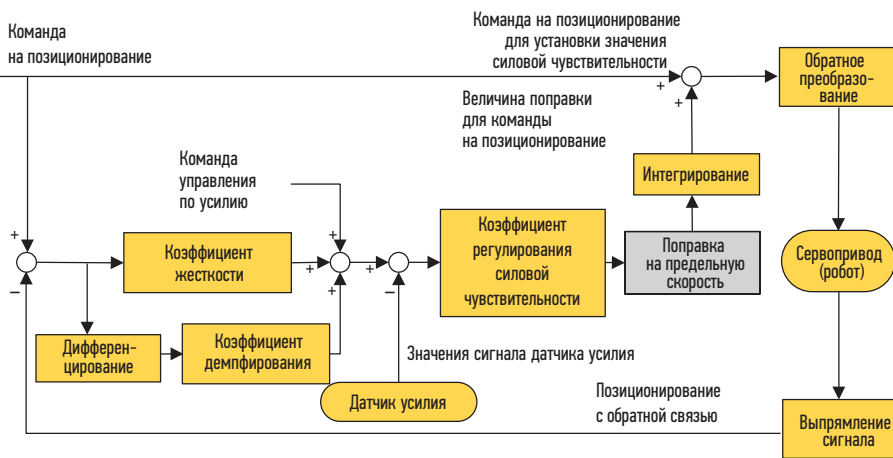


РИС. 7. ◀ Пример операции установки детали

двигаться вдоль оси X, действуя на него с постоянным усилием. Если значение усилия превышает заданную величину, вырабатывается сигнал ошибки для прерывания процесса.

Операция установки разъема

Робот осуществляет поиск разъема в плоскости X-Y (рис. 9). После его обнаружения определяется среднее положение относительно осей X-Y для установки.

Датчики усилия могут использоваться для выполнения работ по монтажу деталей машин, требующих высокой точности, а также при проведении таких технологических операций, как шлифовка, полировка, установка разъемов и т. д. Кроме того, описанная интеллектуальная система может найти широкое применение благодаря таким ее возможностям, как функция исправления ошибок, снижение трудозатрат на обучение робота и анализ отклонений с использованием данных журнала событий. ●

РИС. 8. ▶
Пример операции полировки

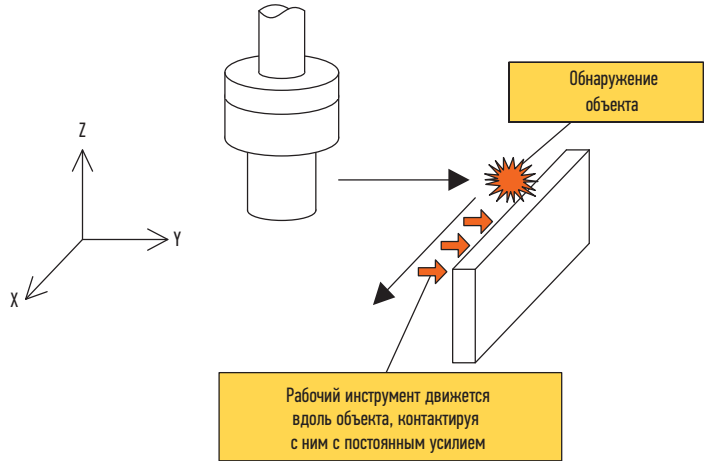


РИС. 9. ▶
Пример операции по установке разъема

