

Применение дистанционно управляемого оборудования для осуществления работ по снятию с эксплуатации ядерных установок

Практические преимущества усовершенствованных роботов и манипуляторов

В течение нескольких десятилетий в промышленности успешно применяются автоматические устройства и роботы для выполнения различных технологических операций по сборке и перемещению. В ядерной промышленности разрабатывались и разрабатываются разнообразные специализированные манипуляторы и оборудование для выполнения дистанционных операций, как, например, осмотра, технического обслуживания, ремонта и очистки.

Применение таких устройств является важным путем уменьшения радиационного облучения персонала во время работ по снятию с эксплуатации и дезактивации ядерных установок. В результате могут быть уменьшены и расходы на операции по снятию с эксплуатации.

Что означают термины „робот” и „манипулятор”?

К контексте вышесказанного робот — это программируемая управляемая машина с памятью для обращения с какими-либо предметами, которую можно научить и, если потребуется, легко переучить для выполнения какой-то новой операции. Последняя возможность является характерным отличием роботов от другого автоматического оборудования, хотя системы с цифровым управлением также обладают высокой гибкостью. Обычно роботы состоят из механических компонентов, сервоприводов, систем управления и датчиков, кроме того, они, как правило, имеют несколько степеней свободы.

С другой стороны, манипуляторы обладают многими характеристиками робота, но их непосредственное управление обычно осуществляется вручную или дистанционно. С помощью соответствующей системы манипуляторами можно управлять по заранее заданной программе (создавая тем самым какое-то подобие робота), то же самое касается и ручного управления роботами.

Решение нижеперечисленных проблем играет важную роль для применения роботов и манипуляторов

при выполнении работ по дезактивации и снятию с эксплуатации ядерных установок:

- проведение анализа предстоящих операций;
- разработка технологии дистанционного управления;
- создание усовершенствованной механической техники;
- создание тренажерной техники и технологии;
- разработка дистанционных датчиков;
- разработка систем взаимодействия „человек—машина”.

Программы ядерной промышленности

В ядерной промышленности дистанционно управляемое оборудование, например, используется для выполнения операций по обращению, осмотру, сборке, сборке, ремонту, замене и изготовлению оборудования в реакторах, экранированных „горячих” камерах, подводных бассейнах выдержки, на заводах по переработке отработавшего топлива, заводах по изготовлению топлива, установках по производству радиоизотопов.

Наибольший интерес с точки зрения операций по снятию ядерных установок с эксплуатации представляют дистанционно управляемые манипуляторы и роботы (стационарные и подвижные), приборы наблюдения и датчики, компьютеры и соответствующее программное обеспечение.

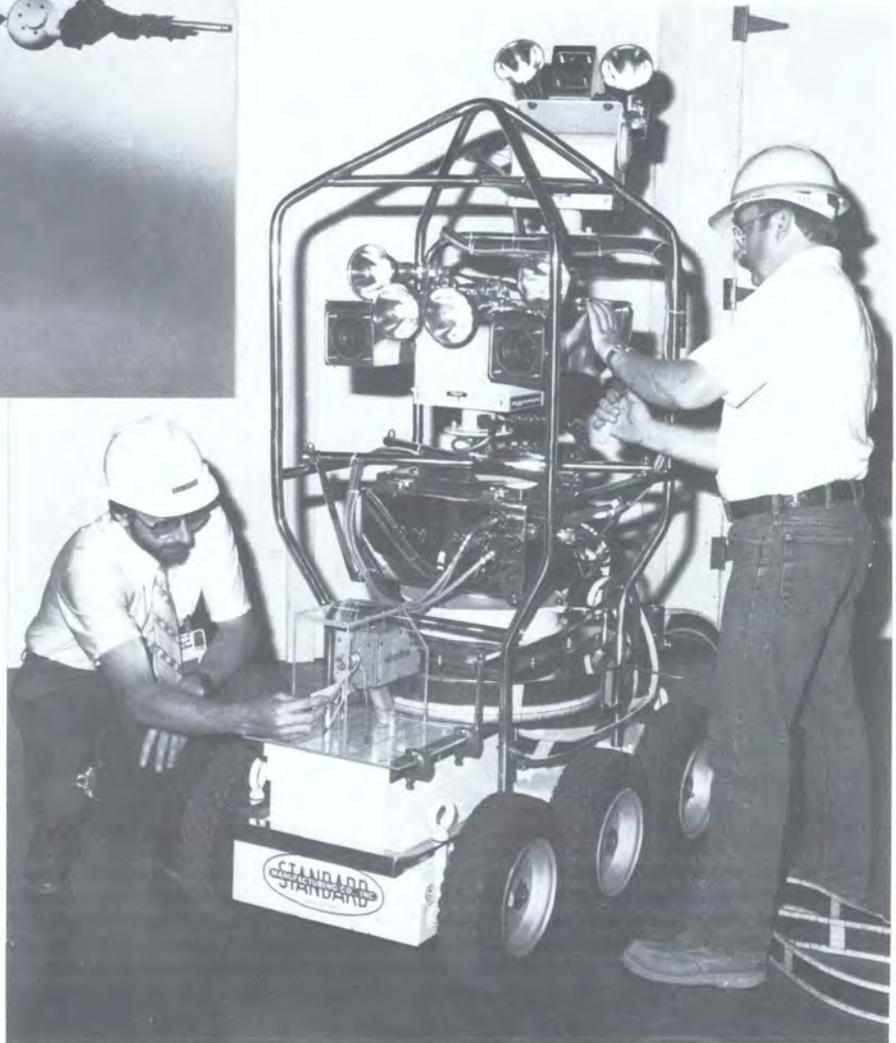
К числу используемых манипуляторов относятся относительно простые копирующие манипуляторы, сложные электрические манипуляторы (управление которыми осуществляется непосредственно по кабелю, радио или с помощью лазерного луча) и наиболее усовершенствованные и „умельные” копирующие сервоманипуляторы, основанные на применении компьютера. Кроме того, промышленные манипуляторы можно оборудовать приспособленными к окружающей среде и экранированными кабинами управления и, если необходимо, их можно установить на транспортное средство.

Автоматически управляемые транспортные системы используются в ядерной промышленности уже многие годы для выполнения различных задач. Не-

Данная статья взята из технического отчета МАГАТЭ *Методы и технология снятия с эксплуатации ядерных установок* (в печати). Аналогичные статьи можно найти в Бюллетене МАГАТЭ, т. 27, № 3 (осень 1985 г.).



Робототехническая рука-манипулятор, используемая для выполнения работ по снятию установок с эксплуатации. (Предоставлено: Cincinnati Milacron),



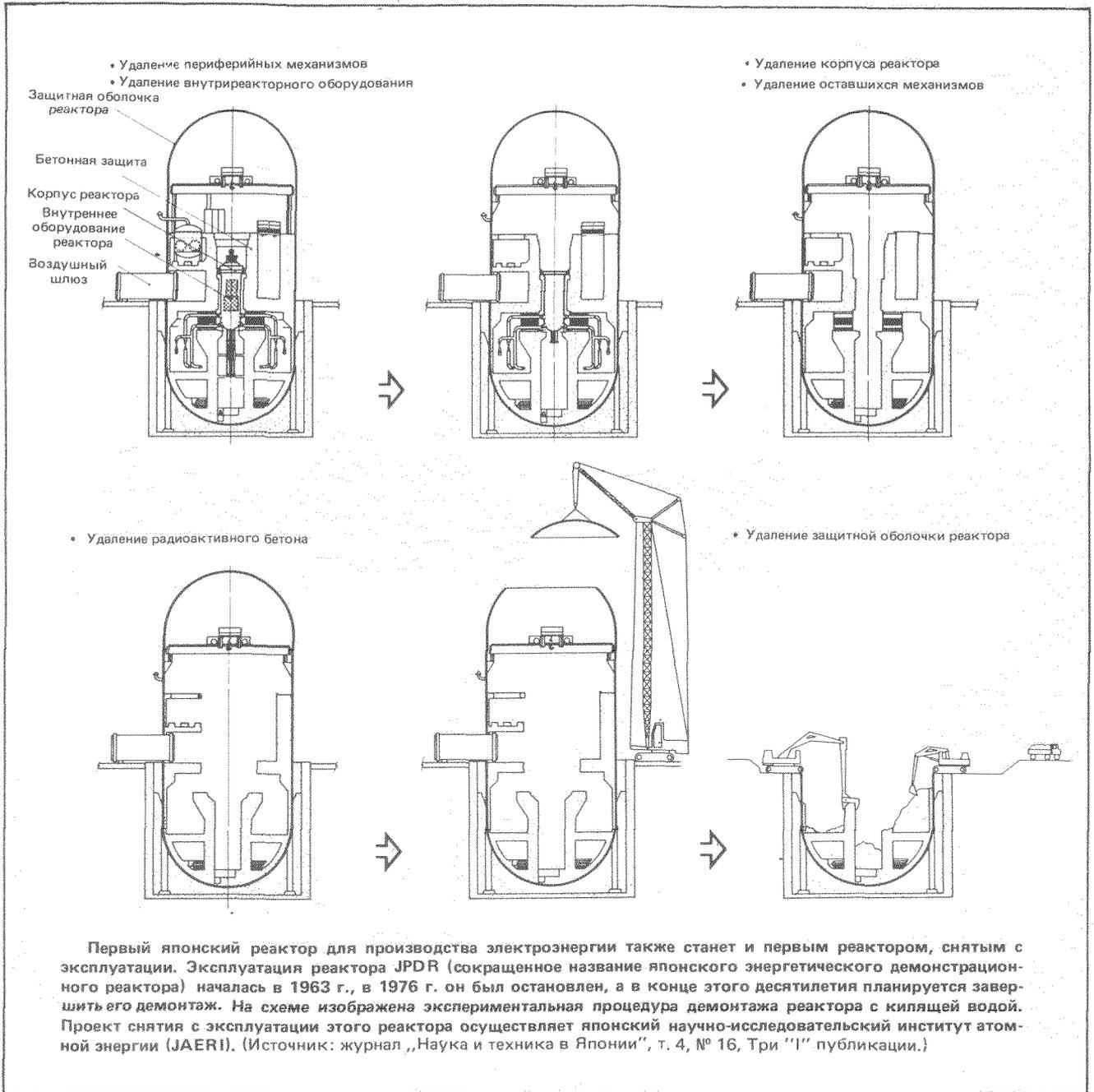
На АЭС Три Майл Айленд-2 рабочие проверяют техническое состояние робота "Rover", с помощью которого был проведен первый широкомасштабный осмотр состояния подвальных помещений здания реактора после аварии. (Предоставлено: GPU Nuclear),

которые из них имеют свободный радиус действия и управляются с помощью оптических систем или по радио, другие передвигаются вдоль кабеля управления, расположенного под полом. Кроме того, для ядерной промышленности были созданы специальные гусеничные и колесные машины. При выполнении работ по снятию ядерных установок с эксплуатации такие машины могут использоваться в качестве передвижных баз для транспортировки манипуляторов и оборудования, направляемых для работы в зону с высокими радиационными полями.

Для Комиссии европейских сообществ (КЕС)* было проведено исследование, в котором подробно проанализированы возможные варианты снятия ядерных установок с эксплуатации.

Универсальные подвижные роботы могут успешно заменить человека при выполнении различных задач, как, например, наблюдение или мониторинг

* См. „Обзор дистанционно управляемых систем, применяемых для выполнения операций по снятию ядерных установок с эксплуатации“, автор Л.Да Коста и другие, Комиссия европейских сообществ (опубликован в 1985 г.).



контроль. Кроме того, они могут проводить физические измерения (например, уровней радиации, температуры, влажности), а также выполнять скреперные работы и дезактивацию стен и полов. Грузоподъемность манипуляторов, перевозимых на транспортных машинах, определяет возможность разборки небольших компактных конструкций и возможность выполнения других задач, как, например, строительства защитных стен.

К числу дистанционно управляемой техники можно отнести и более крупные машины, как, например, бульдозеры, обратные ковши и экскаваторы, необходимые для выполнения крупных работ по

полному разрушению бетонных строений. В настоящее время на коммерческом рынке имеются системы, которые приводят в действие рычаги управления таких машин по радио.

Для проведения подводных работ имеются манипуляторы, установленные на погружных транспортных средствах; аналогичные устройства можно использовать для выполнения подводных операций по снятию ядерных установок с эксплуатации. Однако для этого потребуются выполнить значительный объем опытно-конструкторских работ.

Во Франции создан сложный, управляемый компьютером сервоманипулятор, снабженный теле-

визионным оборудованием и телескопическими опорами, который используется в настоящее время для проведения дистанционного технического обслуживания и выполнения операций по снятию с эксплуатации. Комбинация таких вариантов позволяет использовать этот манипулятор в качестве манипулятора с ручным управлением для технического обслуживания или в качестве робота, управляемого с помощью компьютера.

В Канаде в настоящее время фирма „СПАР Аэро-спейс“ разрабатывает для электроэнергетической компании „Онтарио Хайдро“ сложную дистанционную вспомогательную манипуляторную систему (RMS), которая может использоваться для замены труб на реакторах Пикеринг. В ней использована технология, разработанная фирмой СПАР для руки-манипулятора, применяемой на космических кораблях программы „Шаттл“ США. RMS — это лишь одна часть единого комплекса дистанционных манипуляторов и систем управления, который будет использоваться для выполнения разнообразных работ по обращению, осмотру, поддержке и транспортировке, а также перестановке контейнеров с топливом в камере перегрузочной машины. В соответствии с другим проектом фирма АЕКЛ создала сложную дистанционно управляемую руку-манипулятор, оборудованную системой наблюдения и дистанционным сварочным аппаратом для ремонта негерметичных труб, расположенных в камере под ядерным реактором Дуглас Пойнт.

В Японии осуществляется программа по разработке робототехнической дистанционно управляемой системы для выполнения работ по снятию с эксплуатации демонстрационного реактора мощностью 90 МВт (тепл.) (JPDR). На первом этапе исследования упор делается на создание систем взаимодействия „человек—машина“ и усовершенствованных систем управления для улучшения эксплуатации, гибкости, технических возможностей и автономии. Эти манипуляторы и машины будут обладать такими характеристиками, как возможность полуавтоматического контроля за траекторией движения и способность избегать столкновений. Эта работа позволит создать к концу 1986 г. дистанционно управляемые системы, предназначенные для выполнения легких и тяжелых работ и снабженные мощными подводными манипуляторами, которые способны обращаться с грузом весом в 10 и 100 кг, соответственно.

В Великобритании Управление по атомной энергии разрабатывает сложное дистанционно управляемое оборудование для выполнения операций по снятию с эксплуатации усовершенствованного реактора с газовым охлаждением мощностью 33 МВт в Уиндскейле (WAGR), завершить эти работы планируется в 1994 г. В принципе эта система состоит из экранированной стойки, поддерживающей выдвижную жесткую мачту, и подъемной платформы с установленным на ней дистанционно управляемым манипулятором, который будет использоваться для выполнения сложных работ по

демонтажу оборудования. Для демонтажа реактора и удаления отходов изучается возможность применения в машине по снятию с эксплуатации дистанционно управляемого аппарата плазменной резки и телевизионных стереосистем совместно.

В ФРГ создаются аналогичные автоматические или дистанционно управляемые системы для обращения и демонтажа оборудования при снятии с эксплуатации газоохлаждаемого реактора мощностью 100 МВт в г. Нидерайхбах (KKN). Реактор будет демонтирован, разрезан на секции и упакован дистанционно с помощью вращающегося режущего и подъемного манипулятора.

Технические решения, примененные в системах для демонтажа реакторов WAGR и KKN, могут быть использованы для проектирования манипуляторов, которые будут применяться для снятия с эксплуатации других сосудов, работающих под давлением.

Критерии для дистанционно управляемого оборудования

Применение дистанционно управляемого оборудования в ядерной промышленности подразумевает, что оно будет эксплуатироваться во вредной среде, где существует возможность его радиоактивного загрязнения. Кроме того, доступ людей к оборудованию для регулировки, ремонта и/или замены очень часто оказывается затрудненным и опасным, поэтому его можно осуществить только после его дезактивации.

При проектировании или выборе дистанционно управляемых машин для осуществления работ по снятию ядерных установок с эксплуатации необходимо тщательно анализировать их рабочие характеристики. К числу критериев, которым они должны отвечать, по мере возможности, относятся следующие:

- работа машины даже в неисправном состоянии должна быть безопасной;
- машина должна быть надежной, долговечной и способной выполнить поставленную задачу;
- доступ людей к машине, хотя часто и ограниченный, должен быть достаточным для подготовки к работе, выполнения операций и выхода из зоны работ. Конструкция машины также должна облегчать проведение технического обслуживания, ремонт и демонтаж;
- при использовании машины в условиях радиоактивного загрязнения ее конструкция должна также облегчать проведение дезактивации;
- необходимо рассчитывать издержки за срок службы, включая расходы на дезактивацию и/или захоронение машины;
- в системе управления таких машин должно быть предусмотрено оборудование для работы в диалоговом режиме, чтобы ничто не мешало действиям оператора;

- прежде чем приступить к выполнению реальной задачи, необходимо провести широкомасштабные испытания на установке-макете;
- в конструкции различных соединений и разъемов должна быть предусмотрена возможность дистанционного использования машины;
- компоненты должны быть устойчивы к воздействию радиации; органы управления и как можно большее число других компонентов нужно проектировать таким образом, чтобы они располагались отдельно и вне активной зоны;
- в конструкции необходимо учитывать условия среды эксплуатации (как, например, температуру, давление, влажность, запыленность, химическую активность);
- когда это практически возможно, необходимо использовать имеющиеся и испытанные промышленные узлы и/или устройства, даже если для этого потребуются некоторая модификация конструкции;
- конструкция должна быть как можно более простой, но тем не менее отвечать требованиям вышеуказанных критериев.

Промышленные роботы: различные конструкции многоцелевого применения

Кинематические функции промышленных роботов обычно оценивают, сравнивая их с работой оригинала „многоцелевого манипулятора“ — человеческой рукой; большинство роботов проектируется для выполнения и дублирования функций человека. Многие манипуляторы имеют сочлененную механическую руку, к которой может прилагаться целый набор различных устройств, как, например, захват, шлифовальное устройство, краскопульт, сварочный пистолет или пневматический гайковерт. Эксплуатация и конструкция таких устройств (названных „конечными исполнителями“), выполняющих функции человеческой руки, играют такую же важную роль, как и конструкция самого робота-манипулятора.

Человеческая рука и кисть — помимо функций контроля за положением предмета в пространстве — могут также изменять его в трех плоскостях вращения и обладают, таким образом, 6-ю степенями свободы (три оси поступательного движения и три оси вращения). Рука человека может выполнять 22 отдельных движения. В сочетании с органами чувств, системой обратной связи и способностью человеческого мозга автоматически выбирать информацию от органов чувств, наиболее подходящую для выполнения определенного движения, человеческая рука является необычайно универсальным и сложным механизмом. Кроме того, она обладает большой силой (отношение предела прочности к весу равно 5) и легким весом.

Для имитации функций человеческой руки и кисти по контролю и изменению положения объекта в пространстве рука робота или манипулятор должны иметь, по крайней мере, 6 степеней свободы. Очень часто для того, чтобы рука робота смогла обогнуть препятствие, используют 8 или 9 степеней свободы. В большинстве случаев простые клещи заменяют 22 движения человеческой руки, хотя для особых случаев созданы антропоморфные руки с сочлененными и мощными пальцами.

Робот может приводиться в действие с помощью пневматических, гидравлических, электрических и механических приводных механизмов или с помощью комбинации этих четырех основных типов приводов.

Наиболее трудная задача при создании робота-манипулятора заключается в имитации контрольных функций человеческой руки. Разработка специаль-

ных компьютеров, процессоров и запоминающих устройств открыла новый этап в области систем управления роботами. Конструктор может повысить интеллект робота, используя математические уравнения сложных движений, а также более совершенные системы датчиков.

В настоящее время применяются роботы и системы управления различных конструкций, начиная от простых, выполняющих ограниченное число последовательных операций, до сложных роботов, управляемых с помощью компьютеров.

На заводах всего мира успешно используются многие тысячи роботов первой категории (в основном для установки и снятия заготовок и деталей). Чтобы проделать требуемую работу, такие роботы должны уметь выполнять лишь незначительное число последовательных действий, им не нужно управлять своими движениями, что необходимо для более сложных роботов. Каждый этап последовательных операций заранее запрограммирован и управляется с помощью электрических или пневматических сигналов, поступающих с панели управления коммутатора через штепсельный разъем. Для ограничения движения соединений механизмов манипулятора обычно используют механические стопоры. Хотя большинство таких устройств не получает информацию о среде эксплуатации, некоторые из них были объединены с другими устройствами в целях создания у них определенного интеллекта.

Мало вероятно, что технология, связанная с роботами, выполняющими ограниченное число последовательных операций, найдет широкое применение при осуществлении работ по снятию с эксплуатации и дезактивации ядерных установок, так как перепрограммировать такие роботы довольно трудно.

В более сложных промышленных роботах одним из наиболее важных компонентов является система управления, которая определяет время и способ выполнения роботами своих задач. В системе управления, которая включает в себя компьютер, память большого объема и систему датчиков обратной связи, должны быть предусмотрены простые и быстросредействующие средства программирования в режимах "on-line" и "off-line". Кроме того, она должна иметь оборудование, обеспечивающее возможность работы оператора в диалоговом режиме, и получать от возможно большего числа датчиков информацию, необ-

ходимую для выполнения требуемой работы. Датчики дают возможность измерять состояние системы в масштабе реального времени и предоставляют органам управления информацию о среде эксплуатации. Типичным примером таких датчиков являются лазерные дальномеры, телевизионные системы, тактильные и динамометрические датчики, а также датчики крутящего момента и фиксирования близости предмета. В компьютере хранятся входные данные и сложные программы работы робота, он сравнивает измеренные и расчетные характеристики, разрабатывает сложную последовательность желательных действий и осуществляет связь между оператором и сложным роботом.

Программное обеспечение

Разрабатываемая новая техника и методы программного обеспечения играют такую же важную роль, как и само робототехническое оборудование и системы управления. Например, с помощью компьютерных систем с интерактивной графикой инженер по автоматизации мог бы проложить и проанализировать маршрут движения робота на экране компьютерного дисплея, а не прибегать к „методу проб и ошибок“ в условиях высокой радиации. Это означает, что инженер может заложить в компьютер с интерактивной графикой, например, данные о конструкции и расположении трубопроводов, оборудования и окружающих установок. Робот и его рабочие приспособления также могут предварительно программироваться до их установки в зону эксплуатации.

Например, если необходимо обрезать ряд труб различного размера и формы, то предварительно запрограммированный робот, установленный на подвижном дистанционно управляемом транспортном средстве, подъемном кране или платформе и снабженный газовым резаком и „конечным исполнителем“, мог бы в определенной последовательности разрезать эти трубы. С помощью датчиков или математической модели рабочей среды, полученной благодаря компьютерной системе с интерактивной графикой, необходимо обеспечить возможность предупреждения столкновений. Разработка такой техники, вероятно, окажется целесообразной для проведения работ по снятию с эксплуатации и дезактивации ядерных установок, а также для проведения технического обслуживания с помощью сложных роботов и менее сложных дистанционно управляемых систем, снабженных различными приспособлениями и инструментами.

Усовершенствованные робототехнические системы, используемые в настоящее время на различных заводах для выполнения сварочных и литейных работ, тонких сборочных операций, а также для окраски с помощью краскопультов, помогут освободить многих рабочих от выполнения опасных и неприятных операций. Прямое применение определенных промышленных робототехнических систем для снятия с эксплуатации и дезактивации установок ядерной промышленности зависит от уровня радиоактивности. Однако использование этой технологии, компонентов и определенных роботов технически осуществимо и желательно для выполнения многих задач. Необходимо помнить, что роботы, имеющие динамометрические, контактные датчики и приборы визуального наблюдения, уже существуют, однако их



С помощью своих „рук“ этот робот может брать инструменты и поднимать мелкие предметы.
(Предоставлено: ACEC)

разработка полностью еще не завершена — выполнение даже скромных задач по техническому обслуживанию ставит перед существующими робототехническими системами сложные проблемы.

Робототехника успешней всего работает в тех случаях, когда в памяти роботов хранятся точно установленные координаты физических препятствий в рабочей среде. Непрерывные капиталовложения в исследования и разработку оборудования с искусственным интеллектом, а также разработка стандартов для систем взаимодействия „человек—машина“, одинаковых для всех поставщиков робототехники, повысят гибкость применения будущих роботов.

При оценке финансовой привлекательности применения робототехники в какой-либо сфере деятельности нельзя использовать обычные методы расчета прибыли на инвестированный капитал и окупаемости. Помимо обычной экономии за счет зарплаты рабочих, которых заменит робототехническая система, будет достигнута экономия благодаря снижению расходов, например, на страховку от несчастных случаев и болезней, на осуществление надзора и контроля, на создание автомобильных стоянок, на подготовку персонала, освещение, отопление и энергию, на оплату бюллетеней и выплату пенсий или надбавок за облучение и т.д. Для сравнения издержек, связанных с применением роботов для технического осмотра ядерных установок, уже разработаны методы анализа затрат и результатов.

Деятельность Международного центра теоретической физики в 1986 г.

Зимняя школа по технологии, характеристикам и свойствам эпитаксиальных материалов в электронике (в сотрудничестве с Международным союзом кристаллографии)	13–24 января
Школа по применению физики в промышленности	27 января – 14 февраля
Рабочая группа по ядерным данным в реакторной физике	17 февраля – 21 марта
Рабочая группа по системам связи с использованием волоконной оптики	24 февраля – 21 марта
Школа и рабочая группа по теории супергравитации, суперсимметрии и суперструн	7–18 апреля
Весенняя школа по конденсированным средам: „Порядок и хаос в нелинейных физических системах“	21 апреля – 13 июня
Рабочая группа по солнечной и ветровой климатологии	21 апреля – 16 мая
Рабочая группа по динамическим системам	20 мая – 6 июня
Летняя рабочая группа по физике высоких энергий и космологии	9 июня – конец августа
Научно-исследовательская рабочая группа по конденсированным средам, атомной и молекулярной физике	16 июня – 5 сентября
Восьмой Триестский международный симпозиум: „Валентные нестабильности и тяжелые фермионы“	14 – 18 июля
Четвертый Триестский симпозиум ИЮПАП по полупроводникам	28 июля – 1 августа
Рабочее совещание: „Физика конденсированных сред при высоком давлении“	11 – 29 августа
Школа по геофизике твердых пород	1 сентября – 3 октября
Школа по биофизике: пленки	8 сентября – 10 октября
Школа по современным методам машинных расчетов в физике	6 – 31 октября
Школа по нейрофизике: „Функциональная структура мозга“	13 октября – 7 ноября
Вторые осенние курсы по математической экологии	10 ноября – 12 декабря
Рабочая группа по теории представления групп Ли (продолжение школы 1985 г.)	10 – 28 ноября
Мероприятия на территории МЦТФ	
Конференция по синхротронному излучению	7 – 11 апреля
Мероприятия за пределами МЦТФ	
Региональная школа по микропроцессорам (Пекин, Китайская Народная Республика)	22 сентября – 17 октября

Дополнительная информация может быть получена в МЦТФ по адресу: ICTP, Strada Costiera 11, P.O. Box 586, Miramare, I-34100 Trieste, Italy.

