



РОБОТЫ ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Тэйлор Мур

Установка Одекс-шагающий робот универсального действия. (Источник: компания Одетикс инкорпорейтид.)

Технология применения роботов при очистке и дезактивации второго энергоблока АЭС Три Майл Айленд и на других ядерных установках вызвала интерес в Соединенных Штатах и помогла организовать совместное сотрудничество в области выявления наилучших путей использования роботов

Роботы, о которых раньше говорили только в научно-фантастических произведениях, в последние годы решительно завоевывают внимание общественности и представителей промышленности. Многие обозреватели считают роботов признаком неоиндустриализации, вливающим новую экономическую силу и конкурентоспособность в переживающую депрессию промышленность, повышая производительность и снижая затраты на рабочую силу.

В то же время рабочие очень часто со страхом относятся к образу робота, выполняющего работу, для которой раньше требовался человек. Социальные последствия роботизации американской

промышленности все в большей степени будут интересовать и беспокоить рабочих, управляющих и лиц, отвечающих за определение и проведение политики, т.к. все большее количество роботов появляется на рабочих местах в промышленности.

По данным Ассоциации производителей роботов к концу 1983 г. в Соединенных Штатах насчитывалось лишь 6700 роботов, причем большинство из них было установлено в период, начиная с 1976 г. Однако сила и давление технологического прогресса и международной экономической конкуренции указывают на то, что внедрение роботов в последующие годы будет осуществляться

ускоренными темпами. Некоторые эксперты предсказывают, что к 1990 г. в стране будет использоваться около 1 000 000 роботов, т.е. 1/10 часть общего числа роботов, которые согласно прогнозам будут изготовлены во всем мире.

В большинстве отраслей промышленности, в которых применяется или, как ожидается, будет применяться большое количество роботов, как например, в автомобильной промышленности, машиностроении и обработке металлов, стремление к роботизации непосредственно связано с сохранением или восстановлением конкурентных преимуществ благодаря снижению себестоимости единицы продукции и улучшению

Г-н Мур является штатным сотрудником журнала „EPRI Journal“, из которого и перепечатывается данная статья. EPRI — это Институт электроэнергетических исследований (ИЭИ) в Соединенных Штатах: п/я 10412, г. Пало Альто, штат Калифорния, 94303. Техническую помощь в составлении данной статьи оказали следующие сотрудники ИЭИ: Флойд Гелхаус, Мишель Колар, Томас Ло, Адриан Робертс и Р.К. Уинкльблэк.

ее качества. Однако для некоторых отраслей промышленности привлекательность роботов заключается в возможности их использования в опасной для человека окружающей среде, что уменьшает риск для людей, связанных с такой работой.

Электроэнергетическая промышленность — одна из таких отраслей. Хотя большинство производителей промышленных роботов не считают электроэнергетические компании большим потенциальным рынком сбыта, уже ведется разработка роботов специального назначения для проведения технического осмотра и обслуживания на атомных электростанциях, где уровни радиации, тепла и влажности исключают возможность использования людей или резко снижают их работоспособность. Во многих случаях на АЭС роботы могли бы стать желательным дополнением к рабочей силе, освобождая людей от необходимости выполнения некоторых наиболее трудных работ, а также, вероятно, делая возможным выполнение некоторых операций без останова реактора, что поможет тем самым избежать дорогостоящих простоев для проведения технического осмотра и профилактического ремонта.

Некоторые из роботов, разрабатываемых для электроэнергетических компаний, являются технологическими новинками в области робототехники, а связанные с ними исследования могли бы открыть дорогу разработкам, которые найдут широкое применение в других отраслях промышленности. В настоящее время ИЗИ выполняет ряд проектов по оценке технико-экономического потенциала применения роботов в деятельности электроэнергетических компаний, а также в целях достижения понимания результатов этих исследований со стороны специалистов электроэнергетических компаний, которым приходилось много работать в ожидании появления надежных и экономически эффективных роботов.

Такие исследования обязательно будут длительными. Промышленность по производству роботов, которой по самым широким подсчетам еще не исполнилось и 20 лет, находится на ранней стадии развития в ожидании больших технологических достижений в области систем видеонаблюдения, миниатюризации оборудования и компьютерного контроля, прежде чем действительно экономичные, универсальные и мощные роботы станут обычным товаром. Однако прогресс, достигнутый в последнее время в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию роботов, дает основание предполагать, что такие машины выйдут из лабораторий и появятся

на коммерческом рынке до конца этого десятилетия. Исследования ИЗИ в области применения роботов, по крайней мере, частично направлены на то, чтобы, когда настанет этот день, электроэнергетические компании четко понимали диапазон работ, которые могут выполняться для них роботами, а также выгодно ли для них экономически применение этих роботов.

Роботы для ядерных установок

Применение дистанционно управляемого и роботоподобного оборудования для защиты рабочих ядерной промышленности в зонах высокой радиации не ново. Джон Тэйлор, вице-президент ИЗИ и руководитель ядерно-энергетического отдела, делит роботов, применяемых в ядерной области, на две широкие категории: на одноцелевые устройства с ограниченной способностью выполнять различные операции и на перепрограммируемые многоцелевые роботы, обладающие в некоторой степени искусственным интеллектом благодаря применению компьютеров.

„Я думаю, первая категория уже достигла разумного уровня зрелости“, — говорит Тэйлор. В настоящее время такие типы устройств используются в центре неразрушающих испытаний ИЗИ, а также производителями реакторов, подрядчиками по оказанию услуг в ядерной области и некоторыми электроэнергетическими компаниями для выполнения таких работ, как резка и сварка труб, проверка и ремонт труб парогенераторов, ультразвукового сканирования отрезков труб для обнаружения трещин. „Такие устройства оказались совершенно необходимыми; без них мы просто не можем выполнить некоторые виды работ“, — добавляет Тэйлор.

Роботам второй категории, т.е. обладающим достаточным компьютерным интеллектом для выполнения целого ряда операций, по словам Тэйлора, „еще предстоит пройти длинный путь“, прежде чем они смогут продемонстрировать значительные практические преимущества при осуществлении различных операций на ядерных установках. Однако, как добавляет Тэйлор, такие роботы уже разрабатываются, и, как ожидается, их первичные испытания дадут ценную информацию об их максимальных возможностях.

Вскоре после разработки дистанционно управляемых манипуляторов, предназначенных для применения в горячих камерах и выполнения операций по переработке облученного топлива в 50-х годах на ядерной установке в Хэнфорде, штат Вашингтон, состоялся дебют манипулятора, установленного на транспортере и снабженного телекамерами и освеще-

тельными лампами. Эту дистанционно управляемую машину-транспортёр, разработанную компанией Вестингауз Хэнфорд компани, прозвали Луи после того как один из техников нацарапал эту кличку на руке робота. Луи оказался универсальным и долгоживущим устройством, он используется и в настоящее время.

Некоторые фундаментальные аспекты применения такого оборудования отличаются от роботов, используемых на ядерных установках, от более широко известных промышленных роботов, т.е. неподвижно закрепленных устройств, которые, как правило, применяются для выполнения задач по снятию и установке деталей или других повторяющихся и монотонных операций.

Во многих случаях целью промышленного применения роботов является замена рабочих более высокопроизводительными, эффективными и точными машинами. Однако в ядерной области цель скорее заключается в расширении возможностей людей, а не в их замене, например, чтобы обеспечить им доступ к таким зонам на ядерной установке, в которых тепловая или радиационная обстановка делает невозможным или ограничивает пребывание человека.

„В отличие от большинства областей применения роботов мы хотим сохранить присутствие человека на установках (а не заменить его), чтобы он мог наблюдать за выполнением работ, принимать решения и управлять роботами“, — говорит Р.К. Уинклблэк, руководитель проекта ядерно-энергетического отдела ИЗИ. „Строго говоря, мы стремимся создать дистанционно управляемое оборудование, а не подлинных роботов“, — добавляет Уинклблэк.

Улучшение коэффициента готовности

Экономические обоснования применения роботов на АЭС для проведения технического осмотра и обслуживания сконцентрированы на их потенциальных возможностях улучшить коэффициент готовности станции; побочным продуктом является возможность уменьшения профессионального радиационного облучения (ПРО) персонала станции.

Многие операции по проведению технического осмотра и обслуживания могут быть выполнены только после останова реактора, т.к. уровень радиации при работающем реакторе будет слишком высок даже для человека, снабженного полным комплектом защитной спецодежды. Обычно проведение таких работ откладывается до начала запланированной перегрузки топлива на остановленном реакторе, чтобы максималь-

но уменьшить его простой. Таким образом, роботы могут стать частью критически важных мероприятий по возобновлению работы реактора.

Задержки имеют критически важное значение для коэффициента готовности станции, кроме того, они дорогостоящи. Энергия, покупаемая для восполнения простоя реактора мощностью 1000 МВт (эл.), в среднем обходится в 500 000 долл. США в день. Потенциально роботы могут внести свой вклад в повышение коэффициента готовности путем устранения задержек в запланированных остановках реактора и путем выполнения некоторых операций при работающем реакторе.

Федеральные правила ограничивают дозу облучения рабочих ядерной промышленности, которая не должна превышать 3 бэр в квартал или 5 бэр в год*. Это означает, что при выполнении многих повседневных обычных операций большому числу рабочих приходится поручать выполнение лишь незначительной части этой работы, т.к. они быстро получают предельную дозу ПРО и после этого до наступления следующего квартала должны работать только в нерадиоактивных зонах. Вследствие этого электроэнергетические компании вынуждены нанимать большое число временных рабочих или так называемых „прыгунов“ — временный персонал, которому после получения предельной дозы ПРО поручается другая работа.

В соответствии с оценками Национальной комиссии США по регулированию ядерной деятельности (КРЯД) каждый человеко-бэр облучения персонала обходится электроэнергетическим компаниям в 1000 долларов США, хотя некоторые компании заявляют, что человеко-бэр облучения персонала стоит им 5000 долл. При выполнении некоторых видов работ, например, при осуществлении дозиметрического контроля и при осмотре систем первого контура реактора рабочие могут иметь дело с радиационными полями в несколько сот рад в час.

В будущем электроэнергетические компании могут столкнуться с еще более строгими ограничениями дозы ПРО. В дополнение к руководящим принципам, которые призывают электроэнергетические компании уменьшить дозы ПРО до „максимально низких уровней“, КРЯД в течение уже нескольких лет изучает предложения ужесточить стандарты ПРО; такой шаг может ока-

зать многоплановое воздействие на расходы электроэнергетических компаний, связанные с облучением персонала.

Анализ экономической целесообразности

ИЗИ и КРЯД финансируют проведение предварительных оценок потенциального применения роботов на атомных электростанциях. В исследовании, проводимом фирмой Римоут технологической корпорации, КРЯД, руководствуясь, в основном, целью снижения доз облучения персонала, сконцентрировала свое внимание, главным образом, на операциях по техническому осмотру и наблюдению за работой оборудования.

Внимание ИЗИ в анализе, проводимом лабораторией (Колумбус) и институтом Баттелла, сосредоточено на деятельности по проведению технического обслуживания; институт старается определить возможность увеличения коэффициента готовности станций и уменьшения дозы облучения.

В этих исследованиях предпринималась попытка количественно определить стоимость (в ПРО и человеко-часах) различных операций, которые смогли бы выполнять системы роботов, затем эти расходы сравнивались с издержками на производство робота соответствующих вспомогательных систем и на обслуживающий персонал.

В диапазон операций по техническому контролю и наблюдению за работой оборудования, которые изучались в исследовании КРЯД, входят работы, начинающиеся с обнаружения утечек воды или пара, проверки положения клапанов и считывания показаний датчиков до измерений уровней радиации в различных узлах и различных методов взятия проб для обнаружения радиоактивного загрязнения. В исследовании ИЗИ были изучены 22 операции, выполняемые ежедневно или во время перегрузки топлива, включая техническое обслуживание приводов стержней управления, ремонт труб парогенераторов, а также ремонт или замену различных насосов и клапанов.

Хотя масштабы анализируемой деятельности были различными, в обоих исследованиях делаются выводы, что применение роботов на ядерных установках потенциально сулит значительную чистую экономическую выгоду. В исследовании КРЯД, которое основывалось на применении методологии анализа затрат и результатов на двух существующих станциях, сделан вывод, что имеющаяся в продаже робототехнике можно переделать для существующих станций и ее применение уменьшит радиационное облучение рабочих

и снизит эксплуатационные издержки станции.

Однако исследование КРЯД предупреждает, что выгода, которую получают различные станции, может сильно отличаться из-за различий в конструкциях и эксплуатации. В отчете электроэнергетическим компаниям рекомендуется проводить анализ эффективности конкретных станций с точки зрения затрат и результатов, включая анализ всех расходов, связанных с нахождением персонала в радиационно опасных зонах, для определения экономической целесообразности применения роботов при осуществлении такого контроля.

В исследовании, которое институт Баттелла проводил для ИЗИ, изучались потенциальные возможности применения роботов для технического обслуживания оборудования, а также определялись возможные операции, характерные для многих ядерных установок, на которые приходится значительная часть издержек, связанных с проведением технического обслуживания, и которые могут быть выполнены с помощью существующей робототехники. Были проведены соответствующие анализы эффективности затрат и результатов применения роботов для очистки шахты реактора, для осуществления дозиметрического контроля и в операциях по свинчиванию и развинчиванию фланцевых соединений. Несмотря на выполнимость этих операций с помощью современной робототехники сделан вывод, что ни одна из них не может быть осуществлена без дальнейших дополнительных технологических разработок.

Используя метод чистой приведенной стоимости, исследователи института Баттелла обнаружили, что роботы, применяемые для очистки реакторных шахт и обслуживания болтовых соединений, окупятся меньше чем через год, а те, что будут использованы для проведения дозиметрического контроля, — примерно через 3 года. Затем полученные результаты были проверены для остановки реактора на различные сроки и с точки зрения расходов, связанных с радиационным облучением персонала.

Исследование установило, что даже при самых низких значениях (700 долл. за человеко-бэр облучения и 300 000 долл. за день простоя) роботизация операций по обслуживанию болтовых соединений окупится примерно через год с небольшим, а применение роботов для проведения дозиметрического контроля — меньше чем через 4 года.

В целом исследование показало, что экономия в значениях чистой приведенной стоимости составит от 100 000 до 1 млн. долл. на одного робота при усло-

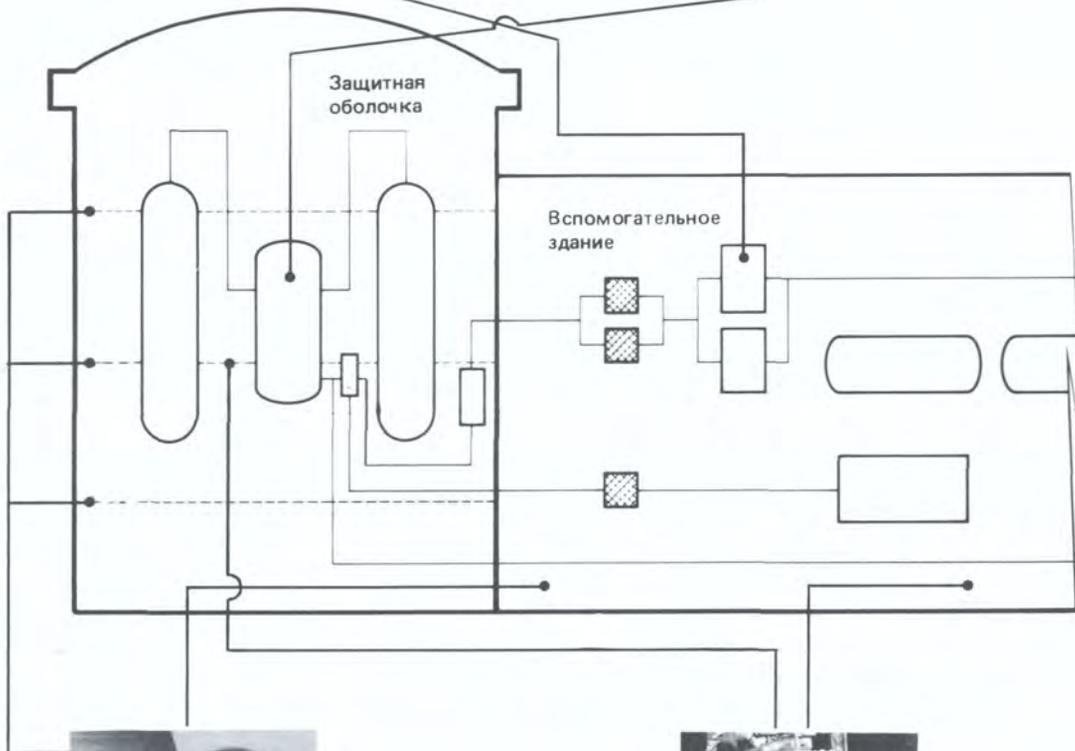
*В соответствии с международными стандартами и по рекомендации Международной организации по стандартизации единица „бэр“ заменена единицей „зиверт“; 1 Зв = 100 бэр.

Роботы на АЭС TMI-2

Проведение работ по дезактивации и восстановлению 2-го энергоблока поврежденной АЭС Три Майл Айленд в штате Пенсильвания поставило уникальные проблемы, связанные с применением робототехники. Два дистанционно управляемых манипулятора, названных Фред и SISI, уже выполняли работы по наблюдению и дезактивации. Роботу RRV, прозванному Скитальцем, было поручено провести обследование радиоактивно загрязненных подвальных помещений защитной оболочки реактора. Для удаления радиоактивных слоев бетонного пола была разработана дистанционно управляемая скреперная машина. Робот Луи, специально модифицированный для проведения работ на АЭС Три Майл Айленд, контролирует уровень радиации в процессе дезактивации емкости для деминерализации воды. Для извлечения топлива из активной зоны 2-го энергоблока был использован робот Роза — универсального дистанционно управляемого манипулятора.

Роза
(извлечение топлива
из активной зоны)

SISI (дистанционное
наблюдение)



Дистанционно
управляемый
скрепер
(дезактивация)



Фред
(дезактивация)

вии, что закупочная стоимость робота будет ниже 200 000 долл.

Однако исследователи института Баттелла отметили один важный недостаток, связанный с ограниченным количеством роботов, специально созданных для применения в ядерной области. В силу того, что ядерная промышленность не являлась крупным рынком сбыта для производителей роботов, этим бизнесом занимаются небольшие предпринимательские фирмы, которые могут переделывать роботы для маломасштабного применения.

Таким образом, указывается в исследовании, ядерная промышленность должна изыскивать пути финансирования таких разработок или привлечь внимание предпринимателей, готовых оказать финансовое прикрытие этой технологии на демонстрационном этапе. Совсем другая ситуация сложилась в Японии, где отношения сотрудничества между электроэнергетическими компаниями и поставщиками привели к выработке более общего подхода.



IRIS (промышленная система дистанционного контроля) — уникальный робот для работы в опасной для человека окружающей среде. (Источник: ИЭИ)

Разработка прототипов

Основой исследований ИЭИ в области применения роботов является его участие в разработке и испытаниях различных прототипов робототехники, которые могут стать предшественниками коммерческих машин. Некоторые из этих роботов можно было бы использовать в качестве транспортных машин для перевозки другой робототехники, как, например, роботов для развинчивания фланцевых соединений или ремонта труб парогенераторов в зонах высокой радиации, для установки, пуска и управления работой меньших устройств. С другой стороны, некоторые роботы могут быть не в состоянии выполнить требуемую работу, однако их можно было бы использовать как умных роботов-наставников для контроля за работой более сильных управляемых машин.

Некоторые прототипы роботов делают свои первые шаги в операциях по восстановлению и дезактивации поврежденного второго энергоблока АЭС Три Майл Айленд в штате Пенсильвания, на которой в марте 1979 г. произошла авария с потерей теплоносителя, в результате чего была разрушена большая часть активной зоны реактора, а многие помещения здания защитной оболочки реактора стали недоступными для людей. Дистанционный осмотр показал наличие в некоторых зонах защитной

оболочки радиационных полей до 3000 рад/ч*.

По словам Адриана Робертса, старшего руководителя программ ядерно-энергетического отдела ИЭИ, а также руководителя программы института по получению информации и осмотру ТМ1-2, работы по дезактивации этой станции дали особенно сильный импульс разработке робототехники. Авария на АЭС Три Майл Айленд — это вызов, брошенный нашим способностям создать необходимые роботы; некоторые виды работ можно выполнить только с помощью дистанционного управления, а так как мы не в состоянии ждать создания уникального робота, то для разработки роботов, способных выполнять эту работу, мы пользуемся результатами исследований и разработок в целом ряде областей. Если роботы докажут техническую возможность осуществления некоторых операций на АЭС ТМ1, то их можно будет применять и на других атомных электростанциях*.

Действительно после аварии на АЭС ТМ1 роботы несколько раз применялись на этой станции. В августе 1982 г. для фотографирования и получения данных об уровне радиации в зонах, окружающих систему очистки и подпитки во-

ды этой станции, была использована дистанционно управляемая, самоходная машина, похожая на танк, весом 25 фунтов (11 кг), которую предоставило Министерство энергетики США; робот назывался SISI (сокращенное обозначение системы для проведения технического осмотра без остановки процесса). Фильтры системы очистки и подпитки воды были сильно загрязнены продуктами деления, попавшими из первого контура активной зоны. Следующей весной для дезактивации стен и пола насосного отсека в подвале вспомогательного помещения было использовано шестиколесное, дистанционно управляемое устройство, названное Фред и снабженное водометом высокого давления. Вес Фреда — 400 фунтов (181 кг), его механическая рука может поднимать 150 фунтов (68 кг) и вытягивается на высоту 6 футов (1,8 м).

Луи, заслуженный робот компании Вестингауз Ханфорд, был доставлен на АЭС ТМ1 для выяснения радиологической обстановки во время дезактивации системы очистки воды. Официально известный под названием „дистанционно управляемый транспортер“ робот Луи будет использован для контроля уровня радиации в процессе удаления ионно-обменных деминерализующих смол из водной системы. Хотя для операции не потребуется использовать подъемную

*В международной практике единица „рад“ заменена единицей „грей“. 1 Гр = 100 рад.

силу робота, равную примерно 1000 фунтам (454 кг), его защищенным от воздействия радиации телевизионным камерам предстоит серьезный экзамен вблизи емкости с деминерализующими смолами, радиационное поле около которой составляет 3000 рад/ч.

Возможно, наиболее широкомасштабной попыткой использования роботов на АЭС TMI явилось создание лабораторией гражданского машиностроения и строительных роботов университета Карнеги-Меллона при поддержке ИЭИ машины дистанционной рекогносцировки (RRV) для обследования подвальных помещений защитной оболочки реактора. Подвальные помещения, куда в течение свыше 5 лет не входил ни один человек, остаются сильно загрязненными радиоактивными шламами, оставленными 600 000 галлонами (2270 м³) воды, включая воду первого контура, большая часть которой к настоящему времени уже выкачана. RRV, прозванная в фирме Джи-Пи-Ю нуклеар корпорейшн, отвечающей за эксплуатацию АЭС TMI, Скитальцем, с помощью подвесной кранбалки должна была быть установлена в темном и сыром подвальном помещении, обследовать его, используя свои три телевизионные камеры, а также провести радиологическую разведку зоны с помощью нескольких детекторов, установленных на ее борту.

Шестиколесная RRV весом 1000 фунтов, созданная совместными усилиями ИЭИ, университета Карнеги-Меллона, фирмы Джи-Пи-Ю нуклеар, МЭ США и Компании Бена Франклина в штате Пенсильвания, была сконструирована Вильямом Виттакером, ассистентом профессора в области гражданского машиностроения и директором лаборатории робототехники. В ней используется новейшая бортовая система разматывания кабеля энергоснабжения, которая позволяет RRV объезжать препятствия, не нарушая контакта цепи.

На раме, изготовленной из нержавеющей стали и установленной на транспортере, расположены барабан с кабелем энергоснабжения, телекамеры, приборы мониторингового контроля и системы управления. Машину после ее возвращения из рабочей зоны с помощью водомета можно быстро дезактивировать.

Работой RRV управляет экипаж из двух человек, использующий консоль с телевизионными мониторами, которая расположена на большом расстоянии от опасной зоны (на АЭС TMI — свыше 500 футов или 150 м); один человек управляет движением машины и телевизионными камерами, а второй — барабаном кабеля энергоснабжения. Экипажи операторов тренировались в управлении RRV в течение нескольких месяцев на импровизированной полосе препятствий

в соседнем турбинном здании (здесь отработывалось большинство операций по очистке станции), готовясь к установке RRV в подвальное помещение защитной оболочки.

RRV — первая из трех аналогичных дистанционно управляемых машин, которые будут разработаны в соответствии с совместной программой восстановления АЭС TMI. Важная особенность конструкции заключается в том, что раму, смонтированную на шасси, можно снять и установить на транспорте другое оборудование. Вторая базовая RRV, модифицированная компанией Лентек инкорпорейтид, которая является подрядчиком ИЭИ по проведению работ на АЭС TMI, снабжена пневматической скрепной и вакуумной системами для снятия верхнего зараженного слоя бетонного пола в некоторых частях реакторного зала.

Третья RRV остается в лаборатории робототехники университета Карнеги-Меллона для дальнейшего усовершенствования и разработок. К числу операций, предложенных для выполнения будущими модификациями этого прототипа RRV, относится отбор жидких и шламообразных проб из подвальных помещений защитной оболочки, отбор керновых проб бетонного пола и стен, а также выполнение небольших работ по разборке конструкций.

„На АЭС Три Майл Айленд мы заинтересованы в рабочих машинах, обладающих высокой прочностью, надежностью и маневренностью“, — объясняет Виттакер, конструктор RRV. „Проблемы, с которыми мы столкнулись на АЭС, требуют больших физических усилий и активных действий, поэтому оборудование, с помощью которого будут решаться эти проблемы, должно быть адекватным. Однако совершенно ясно, что не существует такой машины, которая могла бы одна справиться с решением всех этих задач, поэтому мы стремимся к разработке целой семьи подобных машин. Один из вариантов заключается в создании RRV полной конфигурации для наблюдения и контроля за действиями вспомогательной управляемой машины, на которой будут расположены только инструменты. Другая возможность состоит в разработке миниатюрного варианта RRV, которая будет управляться по радио с основного устройства“.

Совершенно очевидно, что робототехника является ценным оборудованием, которое используется в работе по восстановлению АЭС Три Майл Айленд. Планируется применить на этой станции и другие роботы. Для извлечения топлива из активной зоны реактора (проведение операции предварительно намечено на следующий год) предлагается

использовать манипулятор, построенный компанией Вестингауз электрик компани и известный под названием Роза (сокращенное обозначение дистанционно управляемого манипулятора). Манипулятор Роза, который может работать и под водой, уже известен некоторым электроэнергетическим компаниям, эксплуатирующим реакторы с водой под давлением, благодаря возможности осуществлять с его помощью автоматический осмотр и ремонт труб парогенераторов после того, как обслуживающий персонал установит его на парогенераторе.

В ожидании своей очереди

Кроме исследования роботов, применяемых на АЭС TMI, ИЭИ проводит оценку двух других прототипов, которые могут оказаться полезными на ядерных установках. В семье роботов, создание которой предвидит Виттакер, эти машины могли бы стать двоюродными братьями устройств, используемых на атомной электростанции TMI. Одна из них, разработанная компанией Эдванст ресорс дивелопмент корпорейшн, известна как промышленная, дистанционно управляемая система технического контроля (IRIS). Сконструированная как универсальный робот для наблюдения и проведения техосмотра в опасной окружающей среде IRIS является относительно небольшим (по сравнению с RRV) гусеничным транспортером с питанием от электробатарей, на котором можно установить оптические и звуковые датчики, а также датчики-анализаторы окружающей среды, манипуляторы, подсистемы связи и управления.

Особенностью IRIS, который весит 200 фунтов (91 кг), является уникальная система высокочастотной беспроводной связи, специально созданной для работы в окружающей среде с многочисленными физическими барьерами и радиопомехами, что увеличивает дальность его действия и делает более маневренным, чем большинство других созданных в настоящее время роботов. Он снабжен телескопическим манипулятором и трехмерной телевизионной системой с трансфокаторами и микрофонами, установленными на плоской наклонной подушке, выдерживающей нагрузку в 70 фунтов (32 кг). В конечном варианте робот IRIS будет оборудован бортовой системой искусственного интеллекта ограниченного действия, которая позволит ему находить путь назад, даже если нормальные радиосигналы не будут проходить или будут заблокированы помехами.

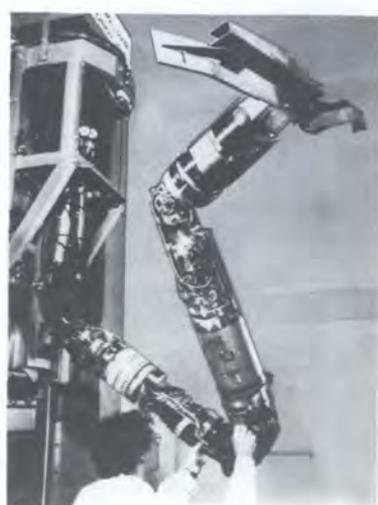
По словам Флойда Гелхауса, руководителя программы ИЭИ, который зани-



Этот управляемый по радио робот Ключе предназначен для наблюдения и транспортировки различного оборудования. (Источник: компания Цибермейшн инкорпорейтид.)



Герман — подвижный манипулятор на установке Y-12 в г. Окридж, штат Теннесси, используемый в качестве запасной системы для работ в токсичной и радиоактивной среде. (Источник: компания Мартин-Мариэтта энержи систем инкорпорейтид.)



Робот ISIS, созданный компанией Хиспано Суиза, используется для проведения ремонтных работ на французском реакторе Чинон АЗ. (Источник: компания Хиспано Суиза.)

Развитие робототехники

Хотя сама промышленность про производству роботов еще и не насчитывает 20 лет, у этой технологии во всем мире имеются старые и дальние родственники, начиная от музыкальных статуэток до механических манипуляторов и станков с программным управлением.

Например, древние греки, египтяне, эфиопы и китайцы создавали разнообразные фигурки, приводимые в движение водой или паром. Позднее, в XVIII и начале XIX века, швейцарские мастера построили „ automata“ — точную копию человека, которая могла писать, чертить и играть на музыкальных инструментах, а французы создали механические ткацкие станки, в которых использовались перфокарты, тем самым открыв дорогу первым станкам с программным управлением.

Однако термин „робот“ не нашел широкого применения, пока в 1921 г. на сценах Лондона не пошла пьеса *Универсальные роботы Россума*. Пьеса чешского драматурга Карела Чапека популяризовала производное от чешского слова *robota*, одно из значений которого — подневольный рабочий.

В настоящее время слово „робот“ свидетельствует о быстром техническом прогрессе и современных перспективах на будущее. В Соединенных Штатах, в соответствии с определением Ассоциации производителей роботов, робот — это „перепрограммируемый, многофункциональный манипулятор, предназначенный для перемещения материалов, деталей, инструментов или специальных устройств с помощью изменяемых программируемых движений для выполнения различных операций“. В Японии используется следующая классификация: М1 — простые манипуляторы, управляемые с помощью телевидения; М2А — устройства, которые можно программировать для выполнения одного определенного вида повторяющихся действий; М2В — устройства, которые могут выполнять несколько различных повторяющихся действий; М3А — более сложные устройства, которые оператор может научить выполнять ряд последовательных операций, управляя

их движениями; М3В — роботы с цифровым программным управлением; и, наконец, М4 — роботы с „искусственным интеллектом“, способные работать в полностью автономном режиме.

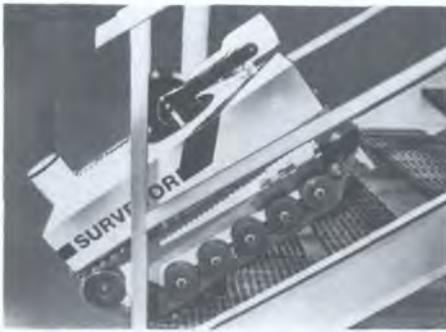
В настоящее время считается, что развитие этой технологии, как правило, находится на уровне роботов типа М3, хотя исследования и разработки уже ведутся на уровне М4. Компьютерные микросхемы, датчики, телекамеры и другое электронное оборудование способствуют развитию робототехники. Однако, по словам специалистов, масштабы будущего применения роботов будут определяться экономическими факторами.

В ядерной промышленности предшественниками современных усовершенствованных дистанционных систем и робототехники являются механические краны и манипуляторы, использовавшиеся на первых этапах развития этой технологии. Один из первых роботов, предназначенных для практического применения, был разработан в 1958 г. компанией Хьюз Эйркрафт для обращения с радиоактивными материалами на ядерных установках США.

На прошлогоднем международном семинаре, проводившемся МАГАТЭ совместно с Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития, были продемонстрированы достижения в области применения этой технологии в ядерной промышленности. Более 200 участников обменялись подробной информацией о достигнутом прогрессе в области электроники, систем оптического наблюдения и материаловедения, которые позволили сделать новые изобретения и провести усовершенствования. (*Материалы семинара по дистанционному обращению на ядерных установках можно получить в ОЭСР, Франция, Сексис 16, Париж, 75775, улица Андре-Паскаля, 2.*)

На прилагаемых фотографиях показаны некоторые робототехнические системы, используемые в настоящее время.

Информация для данной статьи взята из работы Роберта Айреса и Стива Миллера „Современные промышленные роботы“, опубликованной в журнале *Технологии ревью* (май/июнь 1982 г.), а также из статьи Т. Мура в журнале *ЕПРИ джорнал* (ноябрь 1984 г.).



Для дозиметрического контроля, звукового обнаружения утечек пара и снятия показаний приборов можно использовать специальное устройство — Сервейер. (Источник: компания Аутомейшн технолоджиз инкорпорейтид)



Робот-манипулятор, предназначенный для использования на японских заводах по переработке отработавшего топлива и установках по обращению с радиоактивными отходами. (Источник: компания Пи-Эн-Си, Япония)



Устройство MF3, разработанное компанией Си-Эм-Эс технолоджиз инкорпорейтид, ФРГ, в течение последних 10 лет использовалось для технического обслуживания АЭС

(Источник: ИЗИ)



мается оценкой потенциальных возможностей использования IRIS и других роботов в ядерной области, нынешний робот компании Эдванст ресорс дивелопмент был создан только как машина для дистанционного наблюдения. „Он обладает ограниченными возможностями выполнения операций, требующих больших усилий, — говорит Гелхаус, — однако мобильность и возможность изменения конфигурации транспортера в сочетании с его способностью перевозить различные грузы делают робота полезным членом семьи робототехники”.

Гелхаус надеется, что техники центра неразрушающих испытаний ИЗИ выявят сильные и слабые качества IRIS, прежде чем он будет отправлен для прохождения испытаний без воздействия радиоактивности на недавно построенной АЭС. Компания Дьюк Пауэр согласилась провести испытания робота на своей новой АЭС Катауба. Заключительным этапом станут испытания и оценка работы робота на действующей АЭС.

Кроме того, Гелхаус рассматривает возможности применения устройства, которое, вероятно, является самым усовершенствованным роботом из числа созданных до настоящего времени — свободношагающей на шести ногах-опорах машины, названной Одекс. „Прототип Одекса, построенный компанией Одетикс инкорпорейтид, с точки зрения соотношения собственного веса и подъемной силы является замечательным изобретением, — говорит Гелхаус, — так как он способен поднимать грузы, в 5,5 раз превышающие его собственный вес, равный 370 фунтам (168 кг)”. Любый другой робот может поднять немногим больше 1/20 своего веса. „Для робота с такой подъемной силой существует много потенциальных обла-

стей применения”, — добавляет Гелхаус. Компания Одетикс демонстрировала по всей стране видеозапись работы Одекса и в ней имелись кадры, где робот приподнимает небольшой грузик.

Каждая нога-опора Одекса использует свой собственный микропроцессор, а седьмой компьютер осуществляет общую координацию движения робота, что позволяет ему совершать сложные маневры под управлением оператора или дистанционно расположенного компьютера. Машина может совершать поворот на 360° и одновременно передвигаться в любом направлении. Его ноги-опоры, прикрепленные на шарнирах, позволяют роботу занимать 6 четко отличающихся по своему профилю положений, начиная от узкого вытянутого профиля для прохождения через узкие дверные пролеты до низкого, прижатого к полу положения. Одекс снабжен двумя телевизионными камерами для передачи наблюдений.

„Одекс — это эпохальное изобретение в современной технологии, — говорит Гелхаус, — однако потребуются провести тщательные исследования, чтобы определить возможности его применения на ядерных установках”. Работа ИЗИ с компанией Одетикс привела к концептуальным изменениям в конструкции, которые позволят Одексу преодолевать полосу препятствий внутри атомных электростанций.

Будущие разработки

С точки зрения технологии, Одекс, вероятно, стоит ближе всего к полнотью автономным роботам, обладающим искусственным интеллектом, ко-

торые, как говорят исследователи, станут продуктом уникального союза автоматизации машин и развивающейся области искусственного интеллекта. Способность робота маневрировать вокруг препятствий и преодолевать их под дистанционным управлением оператора приближается к уровню компьютерной интеграции управления, которая будет необходима, если потребуются создать роботы, способные автономно передвигаться в соответствии с запрограммированными маршрутами движения, сверяя свое местоположение, направление, маршрут и задачи с базой данных, расположенной в самом роботе.

Однако союз роботов и искусственного интеллекта является отдаленной исследовательской целью, т.к. к числу трудностей, которые необходимо преодолеть, относится проблема компьютерного моделирования стереометрии, а также структурализации большого количества компьютерных данных для логического доступа со стороны робота. Внимание различных военных и гражданских исследовательских программ, осуществляемых в настоящее время по всей стране, сфокусировано на математических аспектах и проблемах науки о вычислительных машинах, решение которых в конечном счете поможет устранить вышеупомянутые трудности. Военные программы в основном финансируются научно-исследовательским управлением ВМС США и Агентством по оборонным усовершенствованным проектам исследований. Другие программы, включая программы Стэнфордского университета, университета Пердью, университета штата Мичиган, Массачусетского технологического института и университета Корнеги-Меллона, охватывают как гражданские, так и

имеющие отношение к военной области научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Ирвинг Оппенгейм, ассистент профессора гражданского машиностроения университета Корнеги-Меллона, в рамках исследовательского проекта работает совместно с ИЗИ над некоторыми аспектами проблемы оценки потенциальных возможностей использования искусственного интеллекта в роботах, предназначенных для строительных работ и технического обслуживания. В Японии уже довольно широко применяются автоматические устройства, выполняющие различные операции в строительстве, однако, как правило, эти машины не обладают искусственным мышлением. По мнению Оппенгейма к двум элементам, которые необходимы, чтобы сделать роботов автономными, относятся способность логически обнаруживать и обходить препятствия и возможность моделирования трехмерной рабочей среды робота так, чтобы он мог сверяться со своей „картой мира“ по мере выполнения поставленной задачи.

„В области математики предпринимаются попытки, реализация которых позволит роботам выбирать конфигурацию, удобную для преодоления препятствия, а мы работаем над уже существующими роботами, проводим их испытания, выявляя недостатки и модифицируя их для достижения некоторых из целей, связанных с будущими возможностями преодоления препятствий, — говорит Оппенгейм, — например, мы проверяем, сможет ли алгоритм управления правильно подать команду роботу объехать две трубы, добраться до третьей и коснуться ее“.

Прогресс во второй области исследований — обеспечение роботов трехмерной моделью их рабочей среды — когда-нибудь приведет к прямому использованию роботами оригиналов рабочих чертежей конструкции всей ядерной установки. Оппенгейм объясняет: „Необходимо иметь такую структуру данных и компьютерную программу, в которых были бы заложены все размеры установки, стальных проемов, твердых объектов, труб, пересечений и т.д.“

„Существует два подхода к этой проблеме. Один из них заключается в создании робота с датчиками, расположенными по всему корпусу робота, который будет просто наблюдать и слушать ни к чему не прикасаясь. Другой подход основывается на том, чтобы как-то использовать все данные о размерах установки, которые уже зарегистрированы и имеются на чертежах и в компьютерных системах проектирования. Мы ищем такую структуру компьютерных данных, которая наилучшим

образом подходила бы для решения этой проблемы“.

Проектирование АЭС с учетом применения роботов является еще одной областью исследований, которую финансирует и поддерживает ИЗИ. В настоящее время многие из проблем, связанных с использованием роботов, обусловлены тем фактом, что все станции были построены без учета применения таких устройств; характерной чертой будущих усовершенствованных реакторных установок, вероятно, будет возможность применения роботов для осуществления наблюдений или проведения технического обслуживания.

По контракту с ИЗИ отдел усовершенствованных энергетических систем фирмы Вестингауз изучал технические возможности использования роботов на прототипе крупного быстрого реакторного реактора. В анализе учитывались различные обычные и специальные операции по техническому обслуживанию и контролю, а также были кратко сформулированы конструкционные параметры, которые могли бы содействовать применению роботов. К их числу относятся создание адекватных рабочих зон и зон доступа, розеток энергопитания и освещения, а также информация о расположении оборудования и других потенциальных препятствиях.

По мере разработки новых роботов, специально предназначенных для применения в ядерной области, будет возрастать и объем работ по технической оценке таких устройств с учетом требований электроэнергетических компаний. Центр неразрушающих испытаний ИЗИ может взять на себя повышенную ответственность в этой области, т.к. он уже принимал участие в технической оценке IRIS.

Новые перспективы

Скоординированные научно-исследовательские и опытно-конструкторские усилия, а также насущные потребности АЭС в уменьшении расходов на проведение технического обслуживания и в снижении доз профессионального радиационного облучения персонала открывают новые перспективы в использовании роботов для выполнения операций, с которыми большинство людей предпочитает не иметь дела. Однако, несмотря на существующие значительные достижения, исследователи предупреждают, что необходимо добиться большего прогресса, прежде чем роботы можно будет серьезно считать надежной и

экономичной техникой. Маловероятно, что применение роботов на ядерных установках страны будет расширяться быстрыми темпами, однако, в промышленности уже существует четкая тенденция к рассмотрению возможностей применения робототехники, где и когда это технически осуществимо.

Мишель Колар, который до недавнего времени являлся старшим руководителем программ ИЗИ и принимал участие в исследованиях института в области применения роботов, которые ИЗИ ведет с 1981 г., выразил обобщенную точку зрения многих исследователей в этой области.

„Существует робототехника, которая позволит вам выполнить определенные работы, однако это совершенно не означает, что в ближайшем будущем мы станем свидетелями широкого применения большого количества этих машин, — говорит Колар, — существуют значительные, еще не решенные неопределенности, связанные не только с оборудованием и программным обеспечением этой технологии, но и с другими проблемами. Станут ли достаточно практичными сроки, необходимые для подготовки персонала и выполнения работ с применением роботов? Пока это неясно. КРЯД может принять решение о регламентации некоторых аспектов технического обслуживания станций, кроме того, пока еще не определена роль роботов в вопросах лицензирования“.

„В конечном счете все сведется к экономике — действительно ли выгодно применение роботов?“ — говорит Колар. „До тех пор, пока не уменьшится стоимость робототехнических систем или кто-нибудь не предложит их в качестве части комплексной сделки, не думаю, что мы в ближайшее время станем свидетелями широкомасштабного применения сложных роботов. Задача ИЗИ — сделать все возможное, чтобы хорошая технология попала на ядерные установки. Однако сначала мы должны выяснить, что могут делать эти машины. Если мы решим эту задачу, то роботы, возможно, и выполнят требуемые от них операции“.

Электроэнергетические компании проявляют все возрастающий интерес к применению роботов на ядерных установках, и в результате научно-исследовательское и опытно-конструкторское сообщество и промышленность по производству роботов создали целый ряд устройств и машин. Нынешняя деятельность является моделью совмест-

ных исследований, в которых большие и свои усилия в целях развития этой тов, которые могли бы внести значительный вклад в улучшение экономики АЭС, дает обнадеживающие результаты.

Дальнейшую информацию можно найти:

- в отчете *Оценка применения робототехнических систем для проведения технического осмотра АЭС*, подготовленном для КРЯД США компанией Римоут технолоджи корпорейшн, NUREG/37717 (март 1984 г.);
- в заключительном отчете *Автоматизированное техническое обслуживание АЭС* для RP 2232-1, подготовленном лабораторией и институтом Баттелла, г. Колумбус, штат Огайо, Кинг-авеню 505, 43201 (1985 г.);
- в докладе *Промышленные системы дистанционного контроля* Е.Б. Силвермана, опубликованном в *Материалах национального целевого совещания по робототехнике и дистанционным операциям во враждебной для человека окружающей среде* Американского ядерного общества (1984 г.).

