

Обслуживание ядерной аппаратуры — проблемы, решения и помехи

П.Г. Вьюстер*

В лабораториях, занимающихся исследованиями, анализом образцов и медицинской диагностикой, большое значение для повышения надежности результатов и эффективности использования капиталовложений имеют уровень технического обслуживания и контроль качества измерительной аппаратуры. Неквалифицированное обслуживание или неисправное измерительное оборудование влечет за собой не только существенные экономические потери, но и социальный ущерб.

В то же время отчеты экспертов, последние обследования использования и качества технического обслуживания ядерных медицинских измерительных приборов, а также многие другие источники свидетельствуют о частых поломках, некавалифицированном обслуживании и контроле качества ядерной аппаратуры. Ядерная медицинская аппаратура, дорогая и относительно сложная, требует регулярных проверок, и ее трудно поддерживать в рабочем состоянии, особенно в развивающихся странах.

Почти все проекты технического сотрудничества МАГАТЭ, связанные с ядерной медициной, отмечают проблемы обслуживания аппаратуры. Секция применения ядерной энергии в медицине Отдела естественных наук Агентства предприняла ряд мер в области обслуживания и контроля качества для исправления этой ситуации. В декабре 1975 года состоялось совещание консультативной группы по оценке качества обслуживания ядерной медицинской аппаратуры в развивающихся странах. Совещание, ограничившись рассмотрением ситуации, рекомендовало проведение объективного обследования для более конкретного определения характера и объема существующих трудностей [1].

В соответствии с рекомендациями Агентство провело обследование примерно в 200 лабораториях стран Юго-Восточной Азии, Латинской Америки и Африки за период 1977–1980 гг. Оно существенно прояснило понимание технических проблем обслуживания аппаратуры, а также выявило существование в проблеме человеческого фактора [2, 3].

Основываясь на результатах этих обследований, Агентство в 1979 году предприняло ряд мер, направленных на улучшение эффективности, надежности и качества работ, проводимых в лабораториях с ядерной аппаратурой. Эта стратегия имеет три составляющие: создание надлежащих условий в лабораториях, более эффективные планирование и прак-

тика обслуживания и контроля качества приборов и связанные с этим программы подготовки специалистов.

Причины отказа оборудования

Обслуживание выявило следующие моменты:

- используемое в настоящее время в ядерных медицинских лабораториях оборудование в среднем 11 % времени было в неисправном состоянии; только некоторые лаборатории практиковали регулярный контроль качества и профилактическое обслуживание оборудования

Основными причинами поломок оборудования являлись:

- плохое качество источников переменного тока, отсутствие профилактического обслуживания и высокая влажность воздуха
- отсутствие запасных частей для ремонта или недостаточная подготовка сотрудников лаборатории, а также отсутствие представителей предприятия-изготовителя. Часто бюрократическая волокита препятствовала быстрому ремонту аппаратуры

Обследование показало, что низкое качество ремонта, чаще чем отказ элементов в самих приборах, являлось причиной выхода оборудования из строя на долгий срок. Согласно другой информации, собранной во время недавних региональных совещаний, оказалось, что многие лаборатории, использующие ядерное оборудование, страдают от того, что руководство и администрация институтов и управление не понимают значения его обслуживания. Отсюда соответствующее отсутствие интереса к контролю качества и профилактическому обслуживанию. Взамен покупается усложненное оборудование, которое не является необходимым в конкретных условиях; в бюджетах не предусматриваются средства в той или иной валюте для обслуживания и приобретения запасных частей; зарплата технических специалистов, обслуживающих аппаратуру, слишком низка; закупка частей в стране или за рубежом ограничена бюрократическими административными правилами.

Были сформулированы и частично проведены корректирующие мероприятия, предпринятые на основании полученной информации. Они связаны с условиями эксплуатации аппаратуры в лабораториях, т.е. с окружающей средой; формулированием и осуществлением планов ремонта; подготовкой операторов по обслуживанию и контролю оборудования, упрощением административных правил и норм, регламентирующих техническое обслуживание и по-

* Г-н Вьюстер является сотрудником Секции применения ядерной энергии в медицине Отдела естественных наук Агентства.

ставку запасных частей. Первые два мероприятия и частично третье нацелены на уменьшение числа отказов оборудования, тогда как остальные мероприятия нацелены на сокращение времени простоя оборудования после его поломки.

Эти мероприятия проводятся в рамках двух скоординированных исследовательских программ: проекта РСС* по обслуживанию ядерных приборов в странах Азии и в районах Тихого океана и скоординированной исследовательской программы по формулированию и выполнению планов обслуживания в Латинской Америке. Обе программы поддерживаются и усиливаются межрегиональным проектом технического сотрудничества в области обслуживания ядерных измерительных приборов.

В рамках скоординированных программ 16 национальных инспекторов, назначенных своими правительствами, приняли договорные обязательства заняться планированием и проведением технического обслуживания в ведущих лабораториях, а также обучением персонала в соответствии с планом мероприятий, учитывающим местные условия. Это обстоятельство ускоряет необходимое развитие в лаборатории или в стране действий в области технического обслуживания и контроля качества аппаратуры и обучения специалистов. Это приводит к ситуации типа „я делаю сам“, которая необходима для объединения этих действий в рабочих планах участвующих лабораторий и стран. Проект технического сотрудничества поддерживает эту деятельность путем проведения регулярных посещений лабораторий специальным экспертом и обеспечением их необходимым оборудованием. Осуществление этих двух направлений оказалось очень плодотворным.

Как успехи, так и проблемы проектов обсуждаются на ежегодных совещаниях, в которых принимают участие национальные инспекторы, специальный эксперт и ответственный за проект специалист. Годовая стоимость этой программы, примерно, составляет по контрактам — 70 тыс. дол. США, по совещаниям — 20 тыс. дол. США, по техническому сотрудничеству — 90 тыс. дол. США и на переезды ответственного за проект специалиста — 5 тыс. дол. США.

В результате обследования было выявлено, что число отказов оборудования может быть значительно уменьшено за счет улучшения параметров подводимой к приборам электроэнергии, контроля температуры и влажности воздуха в лабораториях и предотвращения поступления в лаборатории пыли. Для достижения этих целей требуются только незначительные, довольно недорогие технические меры.

Условия снабжения переменным током

Подводимая в лаборатории и жилые дома электроэнергия по качеству значительно ниже паспорт-

ного уровня. Это следствие ряда причин: основная — возрастающая потребность в электроэнергии для промышленных и бытовых целей во многих странах, что вызывает перегрузку электростанций и распределительных систем. Электроэнергия лабораториям, в жилые районы и небольшим предприятиям часто поступает от одного понижающего трансформатора по общей распределительной сети, вызывая взаимосвязь между различными потребителями. Увеличение потребления электроэнергии лабораториями и особенно госпиталями вызывает перегрузку внутренних распределительных сетей этих организаций. И, наконец, немаловажно, что в тропических районах имеет место коррозия контактов, а воздушные линии электропередачи часто подвергаются ударам молний.

Все эти явления приводят к переходным процессам, колебаниям, кратковременным снижениям и повышению напряжения (провалы и всплески), вплоть до отключения электроэнергии. Переходные процессы представляют собой пульсации напряжения, очень короткие по времени (от 10 наносекунд до нескольких миллисекунд) и очень большие по уровню (до 10 000 В). Они возникают, например, при включении больших нагрузок или при ударах молнии.

Колебания напряжения могут привести к нарушению в работе измерительных приборов или, изредка, в случае перенапряжения, к выходу из строя. Отключение электроэнергии и переходные процессы часто приводят к повреждению оборудования. Кроме того, переходные процессы могут также являться причиной отказов в работе импульсной аппаратуры, вычислительных машин и оборудования, управляемого микропроцессорами.

Во всех 40 ведущих лабораториях, охваченных данной программой, было проконтролировано напряжение в сетях переменного тока для оценки качества работы основного источника и определения необходимых предупредительных мер. 72-часовая диаграмма напряжения в сети переменного тока, сделанная в госпитале, приведена на рис. 1. Замеры проводились каждые две секунды. Кривая показывает, что в рабочее время в первый день среднее напряжение было около 220 В, а затем в течение ночи поднялось на 30 В. В течение дня напряжение непрерывно менялось из-за беспрестанно меняющейся нагрузки на подводящих линиях. Регулярно повторяющиеся падения напряжения были вызваны периодическим функционированием компрессора кондиционера воздуха. Второй день на графике был нерабочим днем, во время которого меньше потреблялось электроэнергии на промышленные нужды. Среднее напряжение в течение этого дня было выше, чем в предыдущий день, а колебания были меньше и менее интенсивные. Около 5 ч 15 мин вечера было отмечено медленное снижение напряжения, вызванное возрастающим потреблением электроэнергии на освещение. В течение третьего нерабочего дня, колебания несколько увеличились по амплитуде и, очевидно, вновь был включен кондиционер воздуха. Утром четвертого рабочего дня, было зафиксировано много сильных колебаний напряжения, а среднее

* Региональное соглашение о сотрудничестве в исследованиях, разработках и подготовке кадров в области атомной науки и техники в странах Азии и в районах Тихого океана.

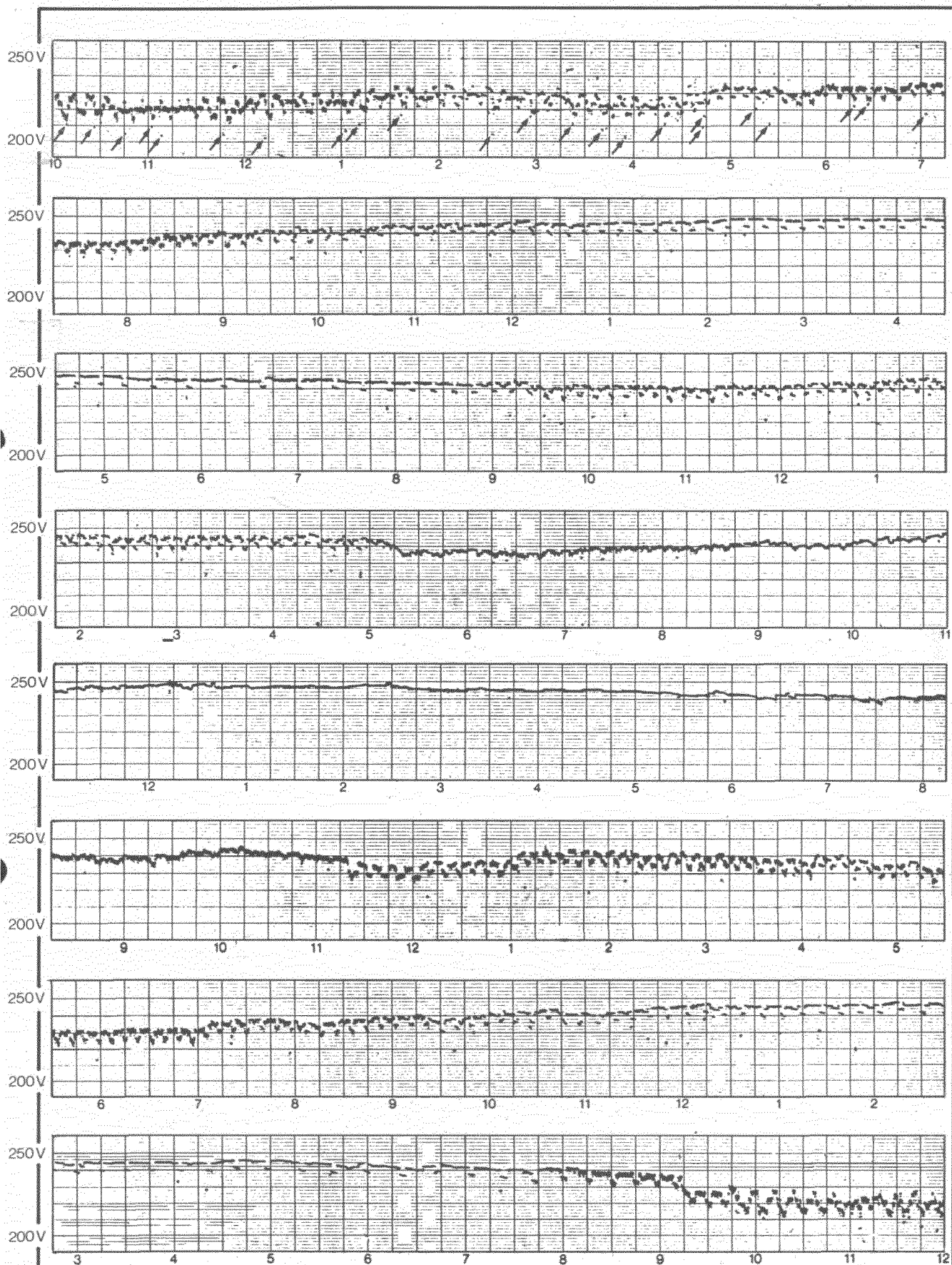


Рис. 1. Напряжение в сети переменного тока, зарегистрированное в госпитале за 72 часа. Показанные колебания напряжения объясняются перегрузками и паразитными сопротивлениями в общественных и институтских распределительных системах.

напряжение упало до 220 В. Отмеченные точки до 20 В ниже среднего напряжения соответствуют провалам, вызванным подключением моторов, например, кондиционеров воздуха. Переходные процессы на этой диаграмме не видны вследствие их малой длительности. Они определенно имеют место в подводящих линиях, так как сопровождают все случаи переключения, а, как следует из диаграммы, последние происходят часто.

Несомненно, лаборатория в этом конкретном госпитале нуждается в улучшении параметров электроснабжения, т.е. в стабилизации напряжения сети

переменного тока и отфильтровывании переходных процессов. На большей части диаграмм, записанных в других ведущих лабораториях, существуют аналогичные эффекты, что свидетельствует об общей потребности в улучшении параметров электроснабжения. Поэтому были разработаны и испытаны надежные устройства для защиты приборов от неправильного срабатывания и выхода из строя из-за колебаний напряжения, отключений электроэнергии и переходных процессов. Они состоят из отключающего реле, варисторов и газоразрядных трубок, а также специально сконструированного трансформатора

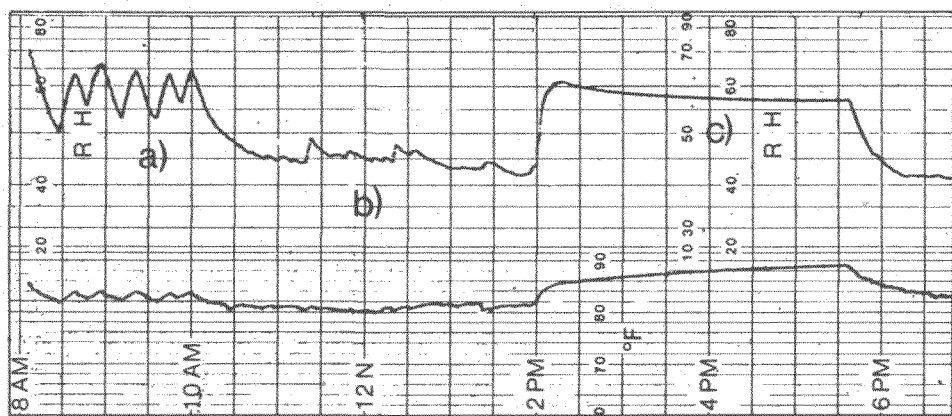
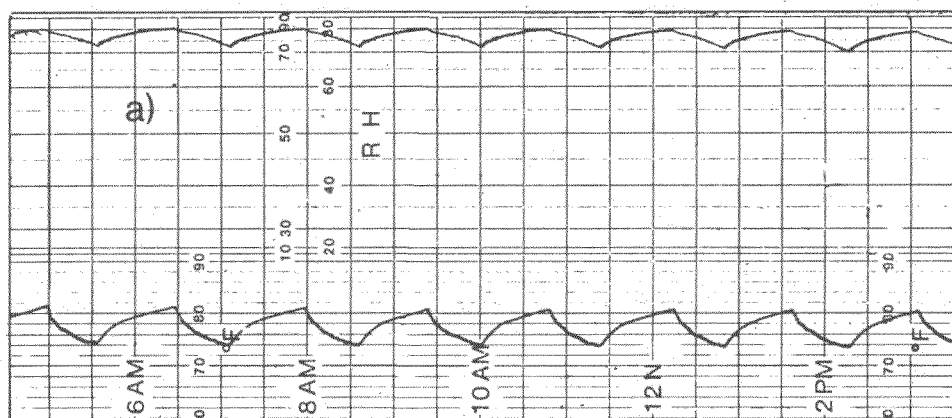
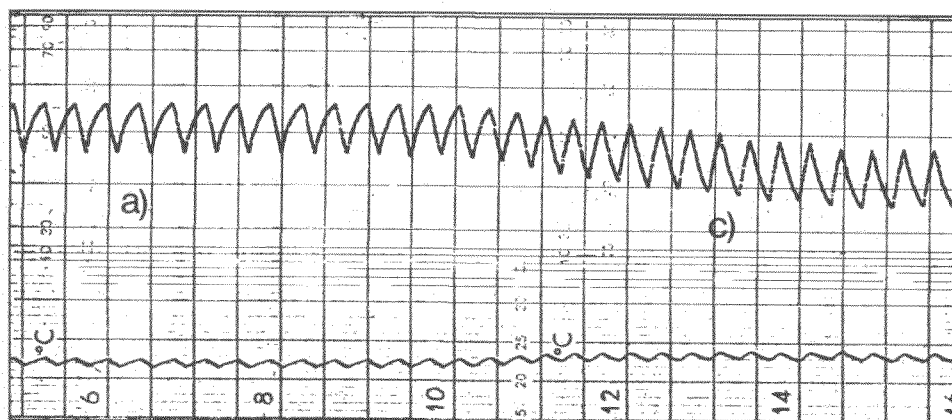


Рис. 2. Типичные диаграммы относительной влажности и температуры в помещениях с оконными кондиционерами воздуха

а) Заметны совпадения уменьшения и увеличения влажности и температуры в периоды регулирования кондиционеров воздуха термостатами.

б) Во время непрерывного охлаждения воздуха кондиционерами видны относительно постоянные низкие значения влажности, прерываемые всплесками, вызванными открыванием дверей.

с) Средняя относительная влажность падает с возрастанием температуры, как и ожидалось, для замкнутого объема влажного воздуха.

постоянного напряжения. Отключающее реле отсоединяет прибор от сети в момент отключения электроэнергии, так что прибор не подвергается воздействию провалов, всплесков и переходных процессов, которые обычно сопровождают процесс восстановления электроснабжения. Прибор может быть подключен к сети вручную или автоматически спустя 2–3 минуты после восстановления электроснабжения. Варисторы и газоразрядные трубки ограничивают амплитуду при переходных процессах и поглощают значительную часть переносимой ими энергии. Трансформатор постоянного напряжения отфильтровывает оставшуюся часть переходных процессов и стабилизирует напряжение. Эти улучшающие качество электроснабжения устройства могут применяться для большинства оборудования. Выше 50-ти таких устройств было установлено в ведущих лабораториях. К оборудованию, имеющему моторы, которые при включении потребляют большой ток, необходим несколько иной подход. В настоящее время Агентство подготавливает подробное описание проблемы электроснабжения по сетям переменного тока, мер улучшения качества электроснабжения и соответствующего подхода к оборудованию, имеющему моторы.

Кондиционирование воздуха

Обычно полагают, что кондиционирование воздуха служит только для создания комфорта для персонала лаборатории. Но для надежного функционирования современного оборудования в течение длительного периода времени необходимы постоянная температура и умеренная влажность воздуха. Когда предусматривается кондиционирование воздуха, обычно считается, что оконные кондиционеры воздуха будут обеспечивать условия, приемлемые для оборудования. Последние измерения, выполненные в рамках данных проектов, показали, что это не обязательно так.

Основная проблема заключается в том, что высоковольтное оборудование в условиях высокой влажности часто выходит из строя. Более того, рост грибка и коррозия постепенно создают условия соответственно для утечек тока и ухудшения контактов, что увеличивает число случаев неправильного функционирования оборудования.

В ведущих лабораториях путем регистрации температуры и влажности воздуха было проведено обследование эффективности существующих систем кондиционирования воздуха. Результаты показали, что большинство кондиционеров воздуха использовались только в рабочее время. Это приводит к возрастанию влажности и конденсации паров на холодном оборудовании в нерабочее время. Было также обнаружено, что в рабочее время системы кондиционирования воздуха часто оказывались неэффективными вследствие недостаточности тепловой изоляции зданий, а также из-за недостаточной герметичности окон и дверей, предотвращающей произвольные поступления внутрь влажного и теплого воздуха. К большому удивлению обнаружили, что окон-

ные кондиционеры воздуха существенно осушают воздух только при непрерывном его охлаждении. Когда их охлаждающее действие, как обычно, регулируется термостатом, периоды снижения температуры и относительной влажности перемежаются с периодами повышения температуры и влажности. Это может привести к превышению допустимой для оборудования величины относительной влажности. Этот эффект демонстрируется на рис. 2. Воздух, попадая в лабораторию через плохо уплотненные окна и двери, не мог бы вызвать такого эффекта. Частично влажность вносится в лабораторию самими оконными кондиционерами, в которых в период отсутствия охлаждения прежде сконденсировавшаяся на холодных решетках вода вновь испаряется.

В проектах Агентства разрабатываются простые мероприятия для уменьшения поступления тепла и влажного воздуха в лаборатории. Они заключаются, главным образом, в установке автоматических устройств для закрывания дверей и устройстве двойных окон, закреплением перед существующими окнами прозрачных пластиковых листов. При правильной установке такие листы предотвращают поступление в лабораторию влажного воздуха и пыли, а так как воздух между окном и щитом действует как изолятор, они значительно снижают поступление тепла в лабораторию за счет теплопроводности. Для определения эффективности таких мер в ведущих лабораториях проводятся в настоящее время испытания. Предполагается исследовать также вопрос о применении двух менее мощных кондиционеров воздуха вместо одного большей мощности для уменьшения больших колебаний влажности. Один использовался бы для круглосуточного охлаждения воздуха, а другой включался бы только в рабочее время. Также будет исследоваться экономия энергии, полученная за счет описанных мероприятий.

Трудности с управлением в обслуживании

Никто не предполагал, что возникнут большие трудности при составлении и выполнении планов лабораторий по техническому обслуживанию, содержащих графики проведения и описание всех действий по контролю качества и профилактического обслуживания, которые должны проводиться для повышения эффективности использования всех приборов и оборудования. Что в действительности надо предпринять, видно из работ, выполняемых с этими приборами, и из руководств по их обслуживанию. Никто также не ожидал, что врач или ученый, работающий с этими приборами, будет испытывать большие трудности при выполнении таких планов. Обследование и изучение этого вопроса показали, что такие трудности являются общими.

Для обучения специалистов были проведены три подготовительных курса, два семинара, несколько местных школ и подготовительных курсов. На пяти координационных совещаниях обсуждались принципы контроля качества и профилактического обслуживания. Специальный эксперт и ответственный

за проект специалист посетили почти все ведущие лаборатории. Национальные инспекторы постоянно пытались внедрять стратегию технического обслуживания. Были подготовлены технологические карты, организационные схемы, графики обслуживания и контроля качества. Несмотря на все эти мероприятия, только в 4-х из 40-а лабораторий смогли ввести в практику контроль качества и профилактическое обслуживание.

Почему наблюдается такое сопротивление контролю качества и профилактическому обслуживанию? В настоящий момент можно сообщить только наблюдения и предварительные выводы, прозвучавшие на региональных совещаниях по данному проекту. Многие потребители оборудования и руководители лабораторий, очевидно, не представляют важности контроля качества и профилактического обслуживания для надлежащего функционирования их лабораторий. Положительное влияние, которое может оказать такая деятельность на их работу, по-видимому, осталось невыясненным. Со стороны руководства и администрации можно часто услышать недовольство по поводу отсутствия обслуживания. Однако, запросы обслуживающего персонала относительно бюджетных ассигнований, по поводу обслуживания и запасных частей, малых наличных сумм в местной и иностранной валюте для покупки срочно необходимых заменяемых частей, относительно увеличения обслуживающего персонала, повышения зарплаты техникам, большей кооперации среди обслуживающего персонала, дополнительного обучения, улучшенного инструмента и цехового оборудования, а также по многим другим вопросам — все запросы остаются без внимания со стороны администрации.

Другими обстоятельствами, мешающими выполнению планов контроля качества и обслуживания, является частая смена персонала вследствие „утечки умов“, т.е. перехода членов персонала на лучше оплачиваемую работу в частные фирмы и промышленность; отсутствие заинтересованности у части операторов измерительных приборов и обслуживающих техников вследствие плохой оплаты, отсутствие понимания значения работы и низкое положение; расхолаживание среди обслуживающего персонала вследствие отсутствия понимания со стороны администрации; недостаточная подготовленность для обслуживания более сложного оборудования и отсутствие инструментов для обслуживания и запасных частей.

Несмотря на упомянутые трудности, национальные инспекторы продолжают свои усилия по улучшению обслуживания в ведущих лабораториях. Они постоянно обращаются ко всем связанным с обслуживанием администраторам, руководителям и официальным правительственным чиновникам с настойчивыми просьбами оказать им необходимую поддержку в создании хорошо функционирующих лабораторий, в предотвращении потерь больших капиталовложений и в исключении страданий пациентов в результате, например, неправильного диагностирования или отсутствия его вследствие дефектов аппаратуры.

Обучение обучающихся

Обучение является лучшим вкладом, который может быть сделан в обслуживание и контроль качества. Чем больше будет людей, осведомленных об обслуживании и контроле качества, тем выше будет сознание их ценности, тем лучше будет качество выполняемых работ и тем меньше будут потери капиталовложений, сделанных на лаборатории и оборудовании.

Агентство уже поняло ценность обучения. Заметная часть в его программе технического сотрудничества отведена обучению [4]. Но потребности в обучении намного превышают возможности Агентства, а государства-члены никогда не смогут чувствовать себя уверенно в ядерной области, если они не смогут обучить свой персонал основным аспектам ядерных измерений. Следовательно, должно развиваться местное обучение. Во всех случаях обучение за рубежом обходится очень дорого. Затраты на одного студента при трехмесячном курсе обучения равны затратам на шестинедельную миссию эксперта. За шесть недель эксперт мог бы помочь местным преподавателям создать местные подготовительные курсы для десяти или более техников и, при необходимости, помог бы в проведении первых курсов. Этот факт наряду с тем, что расходы на питание и аренду жилья у себя в стране много ниже, чем за границей, свидетельствует о том, что такое обучение будет более эффективным с финансовой точки зрения. Местное обучение имело бы и много других преимуществ. Оно способствовало бы развитию местных возможностей и инфраструктуры для обучения измерениям. Оно способствовало бы переводу статуса обучения на тот уровень, который должен быть: естественная и неотъемлемая часть ядерных институтов. Это способствовало бы преодолению частых потерь обученного персонала, уходящего на лучше оплачиваемую работу. И, наконец, что не менее важно, это сэкономило бы средства для более квалифицированной подготовки, которая могла бы проводиться только за рубежом. Кроме того, кандидатов на такую квалифицированную зарубежную подготовку можно было бы легче отобрать, основываясь на их квалификации и желании вернуться после обучения за рубежом соответственно в свои институты.

В целях способствования местному обучению в 1981 году в Куала-Лумпур, Малайзия, в рамках проекта РСС по обслуживанию ядерных приборов в кооперации с промышленным проектом РСС/ПРООН была проведена Школа по обучению обучающихся. Двадцать участников из десяти стран обучались и практиковались по многим аспектам подготовки и проведения подготовительных курсов для обслуживающих оборудование техников и для пользователей и операторов измерительных приборов.

Бывшие слушатели Школы за 1981 и 1982 годы подготовили и провели 14 местных подготовительных курсов. Особое внимание уделялось практическим занятиям и проверкам механических, электрических и электронных узлов, а также обслуживанию

измерительных приборов. В двух участвовавших в Школе странах курсы были проведены на родном языке. Специальный эксперт проекта межрегионального технического сотрудничества вместе с двумя другими экспертами помогли работе 10-ти из этих курсов, взяв на себя те темы, по которым местные возможности обучения были еще недостаточны. Радиодетали и оборудование, требующиеся для этих курсов, также были частично поставлены по межрегиональному проекту.

Программы, результаты и возможные улучшения этих курсов обсуждались на ежегодных совещаниях. Одно из возможных улучшений в дальнейшем заключается в создании курсов по одному вопросу, продолжающихся только одну неделю вместо проводимых до настоящего времени курсов по нескольким вопросам, длящихся от 4 до 6 недель. Такие короткие курсы меньше мешали бы обычной деятельности преподавателей и позволили бы лучше отбирать слушателей.

Школа по обучению обучающихся и последующие местные курсы обеспечили наличие в районе Азии и Тихого океана квалифицированных кадров и подняли интерес к обучению.

Региональные проекты по улучшению или внедрению обслуживания измерительных приборов и контроля качества в ведущих лабораториях стран Азии и районах Тихого океана, а также в странах Латинской Америки были частично успешными. Очевидный прогресс был достигнут в областях улучшения качества электроснабжения и кондиционирования воздуха, а также в области местного обучения тех-

ников, обслуживающих оборудование. На выполнении программ профилактического обслуживания и контроля качества все еще неблагоприятно сказывается отсутствие понимания их ценности. В стадии подготовки находятся проекты поставок запасных частей и упрощения административных правил и норм. Сочетание скоординированных исследовательских программ (которые требуют позиции „я делаю сам” и усиливают дружеское соревнование проведением для оценок результатов ежегодных региональных совещаний) с межрегиональным проектом технического сотрудничества, который оказывает помощь, посылая специального эксперта и поставляя некоторое оборудование, оказалось очень плодотворным. Все участники этих проектов считают, что реальных изменений в планировании и выполнении технического обслуживания можно добиться только после того, как администрация и руководство институтов и правительства окажут полную необходимую поддержку этим экономически и социально важным мероприятиям.

Библиография

- [1] *Техническое обслуживание ядерных медицинских приборов IAEA-TECDOC-184 (1976).*
- [2] П.Г. Вьюстер и Б. Хур. *Техническое обслуживание ядерных измерительных приборов в Юго-Восточной Азии.* Бюллетень МАГАТЭ, Том 21, № 5, 47 с (1979).
- [3] *Применение и обслуживание ядерных медицинских приборов в Юго-Восточной Азии. IAEA-TECDOC-281 (1983).*
- [4] Дж. Долникер. *Обучение в области ядерных измерений.* Бюллетень МАГАТЭ, том 25, № 1, 8 с (1983).

