

# Обслуживание ядерных приборов в странах Юго-Восточной Азии

---

П. Х. Вейстер и Б. Хуп

## ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что в развивающихся странах обслуживание научных приборов всех видов связано с многочисленными трудностями. Эти трудности вызваны многими факторами: тяжелыми климатическими условиями, отсутствием инженеров по обслуживанию, связанных с заводами-изготовителями, отсутствием местного технического персонала, недостатком запасных частей, административными сложностями, финансовыми проблемами и прочими. Несовершенное обслуживание приводит к излишней трате дорогостоящих человеческих и экономических ресурсов: врач не может установить диагноз, срываются исследования, портятся приборы, плохо используется персонал и лаборатории не используются оптимальным образом.

Для того чтобы дать количественную оценку серьезности этих проблем в области ядерной медицины и оказать помощь в планировании мер, направленных на их устранение, на реалистической основе Секция по применению изотопов в медицине Международного агентства по атомной энергии провела обследование обслуживания приборов ядерной медицины в Юго-Восточной Азии. В настоящее время проводятся или подготавливаются обследования в других регионах.

В настоящей статье кратко излагаются результаты этого обследования и сообщается о разрабатываемой в настоящее время программе, направленной на улучшение обслуживания ядерных приборов в странах Юго-Восточной Азии в рамках Регионального соглашения о сотрудничестве (РСС).

## ЦЕЛЬ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Поскольку основная ответственность за предотвращение, обнаружение и устранение (или обеспечение устранения) поломок должна быть возложена на тех, кому принадлежат приборы и кто их эксплуатирует, обследование предусматривало непосредственное привлечение, насколько это возможно, лабораторного персонала и национальных специалистов.

---

Д-р Вейстер является сотрудником секции по применению изотопов в медицине Отдела биологических наук МАГАТЭ. Д-р Хуп в настоящее время является сотрудником легочного отделения и лаборатории физических исследований Главного массачусетского госпиталя; в прошлом он был сотрудником Отдела биологических наук МАГАТЭ.

Обследование было выполнено восемью национальными координаторами, назначенными по просьбе Агентства правительствами Бангладеш, Индии, Малайзии, Пакистана, Сингапура, Таиланда, Филиппин и Шри Ланки. Они оказали персоналу участвовавших в обследовании лабораторий помощь в заполнении бланков и отчетов и написали доклад о результатах обследования в соответствующих странах. Всего в предоставлении запрашиваемой информации приняли участие 93 подразделения ядерной медицины.

Целью обследования было получение информации трех различных видов. Во-первых, обследуемые лаборатории должны были ответить на вопросы анкеты относительно их местонахождения, срока деятельности, персонала, способа получения радионуклидов, финансирования и средств по обслуживанию, а также относительно количества и типов процедур ядерной медицины, которые они выполняют. Во-вторых, в анкете запрашивались данные о каждом отдельном приборе: тип, изготовитель, срок эксплуатации, климатические условия, наличие инструкций по эксплуатации и обслуживанию и запасных частей, характер эксплуатации, испытаний и обслуживания. В-третьих, шесть форм ежемесячных отчетов предусматривали регистрацию для каждого прибора опыта эксплуатации и поломок в течение периода с октября 1977 года по март 1978 года включительно. Безусловно, возникли различия в толковании вопросов и в продуманности подходов к ответам на них, однако полученные данные дают более четкую количественную оценку проблем обслуживания, чем та, которая имела ранее.

Помимо получения данных, обследование послужило второй важной цели — заставить каждую лабораторию осознать существующие проблемы обслуживания и пересмотреть стратегию действий, направленных на их преодоление.

## ОЦЕНКА ДАННЫХ

Представленная ниже оценка основана на 289 приборах, по которым была получена полная информация и которые представляют 70 лабораторий ядерной медицины в 8 странах. По приблизительной оценке суммарная стоимость этих 289 приборов составляет около 5 млн. долл. США. Для введения их в эксплуатацию были затрачены значительные дополнительные средства на лабораторное оборудование, обучение персонала и т.д. Поэтому неспособность поддерживать эти приборы в эффективном рабочем состоянии подвергла бы риску капиталовложения, составляющие миллионы долларов.

### Применение приборов в ядерной медицине

Применение приборов в ядерной медицине в обследованных странах, по-видимому, аналогично их применению в промышленно развитых странах. За исключением особого случая обследования содержания морфия в моче военнослужащих в двух странах (260 000 проб)\*, преобладали исследования эндокринной системы (преимущественно щитовидной железы). Что касается процедур измерения, то преобладали три их типа: пробные измерения усвоения щитовидной железой  $^{131}\text{I}$  (60 000 па-

---

\* Все цифры, приведенные в этом разделе, представляют собой годовые значения.

**Таблица 1. Данные о поломках приборов с разбивкой по типам приборов**

Тип	Количество приборов	Количество поломок (длительный выход из строя)	Средние простои (%)
Жидкостные сцинтилляционные	15	16 (7)	30
Колодезного типа (неавтоматические)	45	13 (4)	6
Колодезного типа (автоматические)	25	25 (4)	8
Пробники (одиночные)	49	14 (5)	6
Пробники (двойные)	32	23 (9)	11
Сканирующие устройства	66	68 (14)	11
Камеры	14	14 (5)	24
Калибраторы	31	7 (5)	11
Прочие	12	1 (1)	8
<b>Всего:</b>	<b>289</b>	<b>181 (54)</b>	<b>11</b>

циентов), получение изображений (в основном методом прямолинейного сканирования) щитовидной железы, печени и мозга (соответственно 40 000, 25 000 и 13 000 пациентов) и измерение концентрации различных биологических веществ в биологических жидкостях методом анализа *in vitro* (75 000 образцов) с использованием сцинтилляционных счетчиков колодезного типа и  $^{125}\text{I}$ .

### Обследованные приборы

Обследованные приборы классифицированы в таблице 1 по всем восьми странам вместе, а в таблице 2 — по отдельным странам. Наиболее часто встречающимися приборами (вторая графа таблицы 1) были 1) счетчики со сцинтилляционными детекторами для оценки количества радиоактивных изотопов в определенном органе тела (например, щитовидной железе) путем внешних измерений, 2) сцинтилляционные счетчики колодезного типа для измерения уровня активности небольшого образца (например, крови) и 3) линейные сканирующие устройства для получения изображений распределения радиоактивного изотопа в определенном участке тела. Во всех странах количество указанных приборов (таблица 2) приблизительно пропорционально числу лабораторий ядерной медицины. Уместно отметить, что гамма-камеры, являющиеся в настоящее время основным прибором, служащим для индикации в промышленно развитых странах, не распространены в данном регионе в широких масштабах.

66% всех приборов были поставлены тремя фирмами-изготовителями, следующие 7 фирм поставили 22% приборов, и еще 21 фирма поставила оставшиеся 12% прибо-

**Таблица 2. Данные о поломках приборов с разбивкой по типам приборов и по странам**

Тип	Страна	A		B		C		D		E		F		G		H	
		NI	NB	NI	NB	NI	NB	NI	NB	NI	NB	NI	NB	NI	NB	NI	NB
Жидкостные сцинтилляционные		1	1	1	1	0	0	1	1	2	2	1	0	6	7	3	4
Колодезного типа (неавтоматические)		4	1	2	0	4	1	7	1	2	0	0	0	8	0	18	9
Колодезного типа (автоматические)		0	0	2	1	1	2	5	3	4	1	1	0	10	16	2	2
Пробники (одиночные)		3	2	2	0	7	1	11	1	1	0	2	1	8	4	15	6
Пробник (двойные)		3	2	1	0	2	0	3	0	0	0	1	1	9	4	13	16
Сканирующие устройства		2	3	3	0	8	1	10	4	1	0	2	3	19	27	21	30
Камеры		0	0	0	0	4	6	4	5	1	0	0	0	4	3	1	0
Калибраторы		2	0	1	0	5	2	9	2	0	0	1	2	10	0	3	1
Прочие		4	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	2	0	2	1
Всего:		19	9	12	2	31	13	53	17	12	3	8	7	76	61	78	69
Длительный выход из строя			4		1		3		8		0		6		12		18
Средние простои			10%		4%		9%		8%		1%		34%		8%		14%

NI – Количество приборов

NB – Количество поломок

ров. Таким образом, для того чтобы улучшить обслуживание и поставки запасных частей почти для 90% приборов, потребовалось бы сотрудничество всего лишь 10 фирм-изготовителей. Все приборы, исключая 75% приборов в Индии, были изготовлены зарубежными фирмами-изготовителями. Срок службы половины приборов превышал 5 лет, а четверти приборов — 10 лет.

### **Условия эксплуатации приборов**

Существует два внешних фактора условий эксплуатации, которые могут оказывать значительное отрицательное влияние на нормальное функционирование приборов: атмосферные условия, в которых они содержатся, и электропитание переменным током. Обследование показало, что 75% приборов эксплуатировалось в помещениях с кондиционированием воздуха, однако свыше 60% кондиционеров выключалось на ночь, на конец рабочей недели и на праздники, что приводило к возможности накопления влажности в воздухе и весьма вредной конденсации влаги на приборах.

Часто происходили перерывы в подаче электроэнергии. Одна лаборатория сообщила о том, что в течение 6-месячного периода обследования имело место до 27 перерывов. Значительные флуктуации и толчки перенапряжения, которые возникают при восстановлении электропитания, могут оказаться весьма вредными для электронных приборов. Данные относительно флуктуаций напряжения и толчков перенапряжения не собирались.

### **Статистика поломок**

Обследование дало данные об интенсивности отказов приборов, продолжительности последующего их бездействия ("продолжительность поломки") и типов отказов. Кроме того, в отношении продолжительности поломок может быть сделана разбивка по типам приборов и по коротким (менее 15 рабочих дней) и продолжительным (более 15 рабочих дней) выходам из строя.

В таблице 1 (третья графа) приведены сообщенные суммарные данные для всех стран о количестве поломок, причем в скобках дано число "продолжительных" поломок. В таблице 2 по каждой стране приводится количество сообщенных поломок. Сообщенная средняя интенсивность отказов для всех приборов во всех странах, за исключением одной, составляет приблизительно один случай в год. При разделении по типам приборов интенсивность отказов для ручных счетчиков колодезного типа, систем пробников и радиоизотопных калибраторов, взятых вместе, составляет один отказ в два года, тогда как для автоматических жидкостных сцинтилляционных счетчиков, автоматических счетчиков колодезного типа, сканирующих устройств и гамма-камер, взятых вместе, интенсивность отказов составляет два отказа в год. В одной отдельно взятой стране особые обстоятельства обусловили статистическую неэквивалентность данных и поэтому для этой страны интенсивность отказов почти в два раза превышала их значения для других стран.

Данные об интенсивности отказов и продолжительности поломок были объединены с целью получения общей продолжительности простоя приборов. После деления на время обследования результат представляет собой процентное выражение

времени, в течение которого прибором нельзя было пользоваться. Эти данные, суммированные для каждого типа приборов, приведены в последней графе таблицы 1. После классификации приборов по странам (таблица 2) были выявлены довольно значительные и очевидно реальные различия между странами. Хотя полученные данные не выявляют причин этих различий, целесообразно отметить, что страна с наилучшими показателями имела хорошо функционирующую центральную систему технического обслуживания. Различия между отдельными лабораториями были еще более значительными, чем различия между странами: три лаборатории сообщили о средних простоях для всех приборов, превышающих 50%; для 6 лабораторий характерным был диапазон 26-35%, для 7 — 16-25%, для 8 — 6-15% и для 23 — 0-5%. В 23 лабораториях вообще не наблюдалось случаев отказов.

Что касается типов отказов, то из 181 поломки, о которых имеются сообщения, 73 представляли собой в основном механические дефекты электродвигателей, считывающих устройств, устройств для смены образцов и других узлов. Число этих поломок значительно превышает 31 отказ детекторных систем (высоковольтные источники питания, детекторы, фотоумножители и предусилители), 15 поломок низковольтных источников питания и 15 отказов электронных схем. Относительно большое количество отказов детекторных систем может отражать важную роль влажности в возникновении отказов. Отказы низковольтных источников питания могут быть частично вызваны флуктуациями и толчками перенапряжения сети питания переменного тока.

Таблицы показывают, что механически сложные приборы (автоматические счетчики образцов, счетчики с двумя пробниками, сканирующие устройства) и гамма-камеры более подвержены поломкам, чем простые приборы, хотя такие поломки не обязательно ведут к увеличению среднего времени простоя. Только автоматические жидкостные сцинтилляционные счетчики и гамма-камеры характеризуются довольно стабильными большими значениями простоев. Для других приборов, по-видимому, существовала возможность устранить большинство отказов в течение нескольких дней.

Группа кратковременных поломок (меньше 15 дней) включала 127 отказов при средней продолжительности поломки 4 рабочих дня. Группа продолжительных поломок (больше 15 дней) включала 54 отказа при средней длительности поломки, превышавшей 3 месяца. Данные обследования частично вскрыли причины таких длительных задержек, сгруппированные по следующим категориям:

- 18 — ожидание запасных частей,
- 2 — ожидание изготавливаемых на месте эксплуатации механических деталей,
- 9 — неспособность агента фирмы-изготовителя решить проблему,
- 5 — недостаточность технической подготовленности лабораторного персонала,
- 8 — бюрократизм и медлительность специальных ремонтных служб,
- 3 — медлительность ремонтных служб фирмы-изготовителя,
- 1 — дефект изготовления,
- 16 — сведения о причинах большой продолжительности ремонта отсутствуют.

Таким образом, основными проблемами обслуживания являются поставки запасных частей, отсутствие технической квалификации, неэффективная работа служб и бюрократия.

## **Запасные части**

Общепризнано, и это подтверждается настоящим обследованием, что трудности в поставках запасных частей являются одним из узких мест, сдерживающих быстрый ремонт. Обследование показало, что лишь для половины приборов имелся список запасных частей и лишь для одной четверти из них они имелись в наличии. Стоимость хранимых запчастей для 43 приборов составила 63 тыс. долл. США. Затраты на запасные части, необходимые для устранения 112 сообщенных поломок 211 приборов в семи из восьми стран оцениваются приблизительно в 17 тыс. долл. США, тогда как затраты на запасные части, необходимые для устранения 34 продолжительных поломок, оцениваются в 8 тыс. долл. США. По полученным сведениям, из наличных запчастей на сумму 63 тыс. долл. США для устранения случившихся поломок были использованы запчасти стоимостью не более нескольких тысяч долларов. Поэтому создание запаса запчастей представляет собой чрезвычайно дорогостоящий способ обеспечения их наличия. Следует сделать вывод о том, что возникающие трудности с поставками запасных частей носят скорее организационный и административный, а не финансовый характер: трудная или сложная процедура выполнения заказов, отсутствие бюджетных ассигнований, чрезмерно строгие таможенные правила, сложные отношения с фирмами-изготовителями приборов, трудности с идентификацией деталей, трудности с оплатой поставок запасных частей и т.д.

## **Средства и кадры для обслуживания**

Данные показывают, что 70% сообщенных отказов были устранены в среднем в течение 4 рабочих дней, что свидетельствует о наличии определенной квалификации и средств. С другой стороны, четверть остальных отказов не могла быть устранена вследствие отсутствия технической квалификации либо у представителей фирмы-изготовителя, либо у персонала лаборатории. Обследование также показало, что лишь в четверти лабораторий имелась специальная зона или мастерская, в которой осуществлялось обслуживание приборов, и лишь две трети из них имели более половины наименований из краткого списка оборудования, обычно используемого для обслуживания приборов (плоскогубцы, отвертки, гаечные ключи, оборудование для пайки, дрель, тестер, осциллограф). Это ясно показывает, в какой степени лаборатории зависели от приглашаемого со стороны персонала при выполнении даже простого ремонта. Контракты по обслуживанию были заключены лишь для 15% приборов. Удовлетворение обслуживанием, осуществленным за последние два года, было выражено в отношении 70% всех обследованных приборов. Обследование не дало никаких данных относительно уровня квалификации и опыта персонала, осуществлявшего обслуживание.

## **Проверка приборов и контроль качества**

Были получены данные о том, что приблизительно для 25% приборов выполнялись ежедневные проверки работоспособности, а для других 25% проводились еженедельные проверки. Остальные приборы проверялись лишь ежемесячно или несистематически. Эти цифры говорят о том, что введение контроля качества для всех приборов безусловно выявило бы большее число отказов, чем было обнаружено до настоящего времени, и обеспечило бы необходимую надежность приборов.

## МЕРЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УЛУЧШЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Меры, направленные на улучшение положения, должны иметь целью уменьшение частоты и продолжительности поломок.

Частота отказов может быть уменьшена при введении соответствующего кондиционирования окружающей среды. Влажность воздуха и температура должны поддерживаться на приемлемом уровне в течение всего года. Пыль и, в случае эксплуатации вблизи моря, соль должны отфильтровываться. Применение для этих целей только кондиционеров воздуха зачастую недостаточно; могут потребоваться осушители и иногда специальные фильтры. Кроме того, необходимо снизить амплитуду толчков перенапряжения и флуктуаций напряжения в сети питания переменного тока путем выделения линий сетевого питания, установки отдельных шин заземления, стабилизаторов напряжения, разделительных трансформаторов, подавителей толчков перенапряжения и реле сброса нагрузки. Те лаборатории, которые хотели бы обеспечить номинальные параметры сети питания переменного тока, должны выбрать варианты, наилучшим образом отвечающие преобладающим в этих лабораториях условиям. Дополнительными средствами снижения интенсивности отказов являются профилактическое обслуживание, ежедневный уход за приборами и надлежащее обучение операторов.

Сокращение периодов простоев может быть достигнуто с помощью различных мер, включающих в себя обеспечение быстрых поставок запасных частей, обучение или найм персонала по обслуживанию, комплектацию соответствующими средствами и инструментом для обслуживания, координирование деловых контактов с фирмами-изготовителями в отношении улучшения обслуживания и совершенствования положений, касающихся финансирования, приобретения и таможенных формальностей.

Снижение интенсивности отказов представляет собой техническую проблему, решение которой хотя и требует определенных капиталовложений, в принципе не связано с какими-либо трудностями. Сокращение периодов простоя представляет собой более трудную задачу, поскольку для принятия эффективных мер, помимо обучения, требуется усовершенствование существующих административных правил и каналов связи.

## ПРОЕКТ РСС

Секция по применению изотопов в медицине провела обследование с целью сбора данных, которыми она могла бы руководствоваться при принятии в будущем мер, направленных на улучшение положения в отношении приборов ядерной медицины. Поскольку положение в немедицинских лабораториях должно быть аналогичным описанному выше, Агентство подготавливает региональные проекты, направленные на оказание государствам-членам помощи в решении проблемы обслуживания всех видов ядерных лабораторий. Осуществление первых из этих проектов будет начато в Юго-Восточной Азии в рамках регионального соглашения о сотрудничестве в области исследований, разработки и обучения в области ядерной науки и техники (РСС). К октябрю 1979 года восемь государств-членов этого региона сообщили Агентству о своем желании присоединиться к указанному проекту.

Проект РСС окажет государствам и лабораториям помощь в повышении эффективности, надежности и качества выполняемых в лабораториях работ путем внедрения или усовершенствования методов обслуживания или рационализации соответствующих программ технической помощи и подготовки кадров. Конкретные меры будут включать в себя кондиционирование рабочих помещений, профилактическое обслуживание, контроль качества, поставки запасных частей, обучение персонала по обслуживанию и операторов, подбор приборов и совершенствование административных положений. Будет поощряться сотрудничество между лабораториями каждой участвующей в проекте страны и между странами региона, поскольку не каждая лаборатория может иметь в своем составе высококвалифицированных инженеров по обслуживанию и не каждая страна может обладать всеми возможностями по подготовке кадров.

Осуществление проекта начнется с совещания координаторов национальных проектов в декабре 1979 года, созываемого с целью начать формулирование планов обслуживания для лабораторий, стран и региона. В 1980 году начнется выполнение этих планов.