

# Эволюция и функции индийской дозиметрической лаборатории вторичных эталонов

---

Г. Субрахманьян

На симпозиуме Международного агентства по атомной энергии по "Национальной и международной стандартизации радиационной дозиметрии", проходившем в Атланта с 5 по 9 декабря 1977 года, со всей очевидностью выявилось, что учреждения, входящие в сеть дозиметрических лабораторий вторичных эталонов МАГАТЭ/ВОЗ, стали рассматриваться как служащие необходимой и вполне определенной цели. Связь, которую они установили с лабораториями первичных эталонов и с потребителями излучения, является достойной одобрения в рамках метрологической системы.

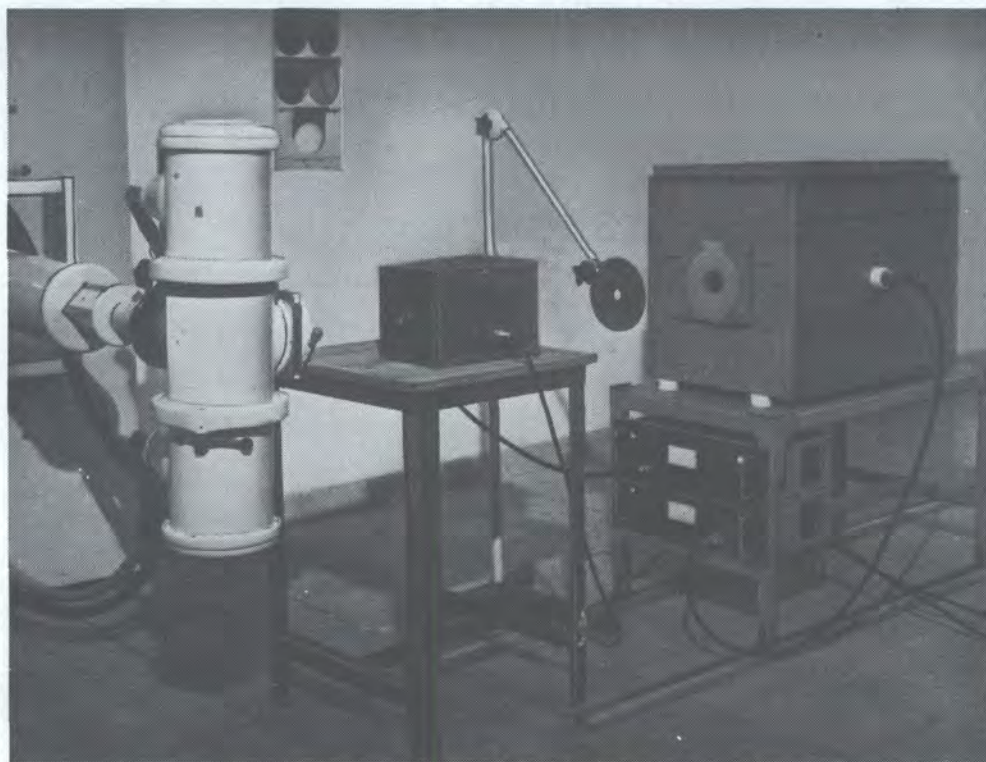
Ряд дозиметрических лабораторий вторичных эталонов (ДЛВЭ) прочно вошли в мировую практику и в точном соответствии с рекомендациями МАГАТЭ начали организацию национальных и региональных программ взаимного сравнения доз. В данной статье в общих чертах рассказывается об эволюции и функционировании индийской ДЛВЭ, которая привела к значительному улучшению клинической дозиметрии посредством осуществления программы взаимного сравнения доз.

## ЧТО ТАКОЕ ДЛВЭ?

Группа экспертов под эгидой Всемирной организации здравоохранения в сотрудничестве с Международным агентством по атомной энергии собралась в ноябре 1968 года в Женеве, для того чтобы обсудить необходимость и эффективные пути улучшения радиационной дозиметрии, в частности, для использования в целях радиотерапии, а также для целей радиационной защиты во всемирном масштабе. Это было необходимо в связи с большим увеличением использования ионизирующего излучения в медицине, промышленности и научных исследованиях и вытекающей отсюда необходимостью надежного обмена результатами между потребителями излучения. Эта группа признала, что существует настоятельная необходимость улучшения дозиметрии излучения в применении к различным отраслям медицинской радиологии, например для диагностики с помощью рентгеновских лучей, рентгенотерапии и ядерной медицины, а также в отношении немедицинского применения ионизирующего излучения и радиоактивных изотопов и радиационной защиты.

---

Д-р Субрахманьян является научным сотрудником Отдела радиологической защиты Атомного исследовательского центра в Бхабха, Тромбей, Индия.

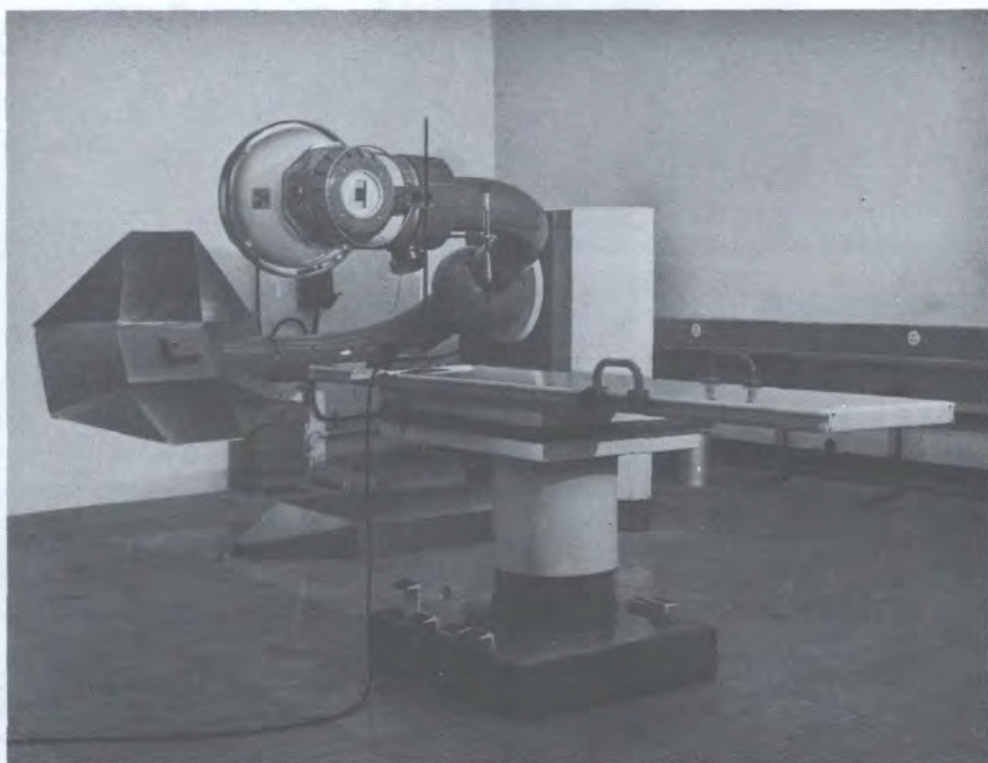


**Рис. 1.** Нормальная ионизационная камера с параллельными пластинами, обеспечивающая первичные эталоны для рентгеновских лучей при напряжении до 300 кВ.

Группа также установила, что проблема калибровки в дозиметрии излучений может быть решена путем создания дозиметрических лабораторий излучений вторичных эталонов (ДЛВЭ), эталонные инструменты которых тщательно откалиброваны по дозиметру первичных эталонов. Предполагалось, что эти лаборатории образуют всемирную сеть (существующая сеть ДЛВЭ МАГАТЭ/ВОЗ) и в каждой из них будут использоваться одни и те же принципы и методы. Эта сеть также осуществляла бы взаимный обмен информацией и рассылала бы доклады, руководства и рекомендации, относящиеся ко всей области дозиметрии.

Индия начала осуществлять свою атомную энергетическую программу в конце 50-х годов и в то же время было начато осуществление программы производства изотопов. С ростом наличия большого числа источников  $^{60}\text{Co}$  для дистанционной терапии было зарегистрировано резкое увеличение количества соответствующих установок. В качестве части национальной атомной энергетической программы Атомный исследовательский центр в Бхабха взял также на себя ответственность за радиационную защиту в пределах всей страны. В начале 60-х годов стала осуществляться вышеназванная программа, и вскоре стало ясно, что во многих радиотерапевтических центрах страны полностью или почти полностью отсутствует дозиметрия излучений и планирование лечения. Можно было увидеть, что радиотерапия





**Рис.2.** Аналогичные графитовые объемные камеры используются для калибровки пучков гамма-лучей кобальта-60.

осуществлялась только на "специальной" основе, зависевшей от клинического опыта рентгенотерапевта. Поскольку в стране была только горстка медицинских физиков, то почти отсутствовало дополнительное физическое обеспечение. В стране не производились дозиметры, а те дозиметры, которые были раньше импортированы для некоторых лечебных учреждений, не могли больше использоваться из-за отсутствия на местном рынке специальных батарей. Кроме того, эти дозиметры после их приобретения ни разу не проходили повторную калибровку. В Индии надо было создать соответствующую инфраструктуру и снабдить госпитали самым необходимым.

#### ПЕРВЫЕ ШАГИ

Инициативу в этом деле взял на себя исследовательский центр в Тромбее, и вскоре начала осуществляться многоцелевая программа. Характерными особенностями этой программы были следующие:

- 1) разработка и усовершенствование первичных эталонов, таких, как нормальные ионизационные камеры, графитовые камеры, калориметры для основных радиационных установок, а также для создания калибровочной установки для калибровки дозиметров на единой для всей страны основе;

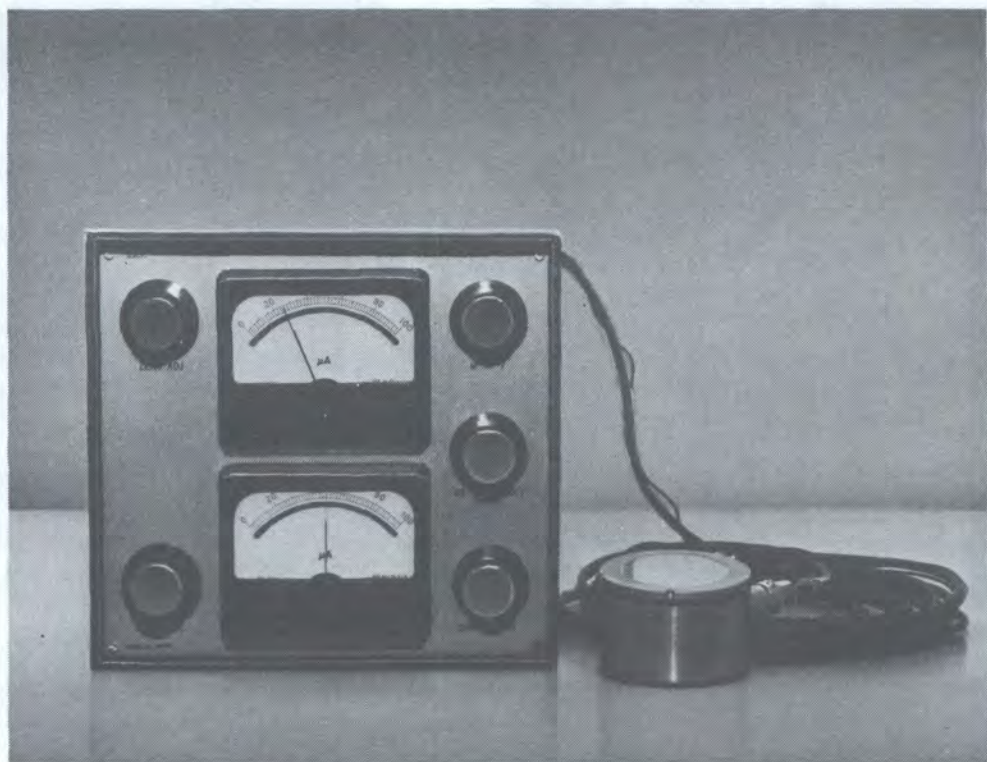


Рис. 3. Дозиметр для мягких рентгеновских лучей.

- 2) конструирование, совершенствование и производство по мере возможности радиационных измерительных устройств и дозиметров из имеющихся в стране блоков и материалов;
- 3) обучение молодых и полных энтузиазма физиков в области физической радиологии;
- 4) проведение исследований и разработок в области физической радиологии.

Важным аспектом дозиметрической программы явилось оказание консультативных услуг радиотерапевтическим институтам по вопросам дозиметрии и планирования лечения. Медицинских физиков поощряли проводить некоторое время в наших лабораториях для того, чтобы они сами оценили современные приемы и вычислительные методы, применяемые в этой области. Среди других услуг, предоставляемых лечебным учреждениям, было проектирование радиологических установок с точки зрения радиологической защиты.

#### РОЛЬ ЛАБОРАТОРИИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАЛОНОВ

Лаборатория радиологических эталонов является хранителем национальных первичных эталонов таких радиологических величин, как облучение рентгеновскими лучами и гамма-лучами и поглощенная доза. В качестве первичных эталонов для



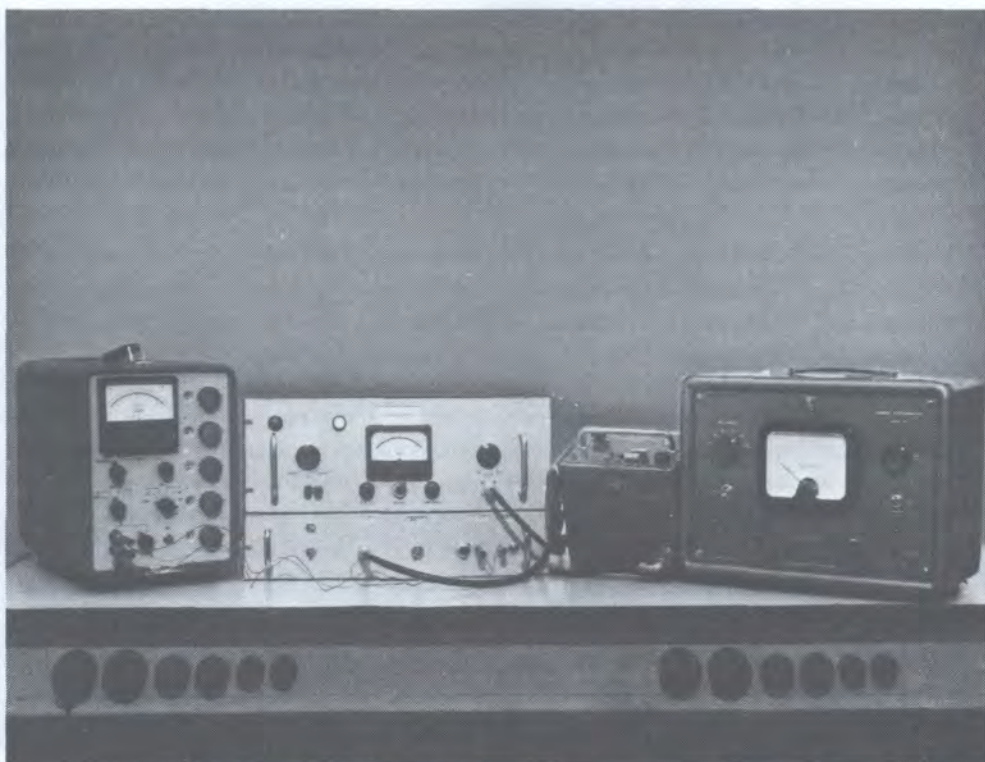


Рис. 4. Система для измерения заряда, используемая при первичных и контрольных измерениях эталонов с помощью рентгеновских лучей.

рентгеновских лучей служат нормальные ионизационные камеры с двумя параллельными пластинами, спроектированные и изготовленные в этой лаборатории для стандартизации облучения рентгеновскими лучами при напряжениях в диапазоне соответственно от 10 до 60 кВ и от 80 до 250 кВ. В качестве первичного стандарта для облучения гамма-лучами от  $^{60}\text{Co}$  служит графитовая камера (см. рис. 1,2,3,4). Состояние первичных эталонов было установлено путем проведения различных международных взаимных сравнений.

Вслед за установлением эталонов радиоактивности всем лечебным учреждениям Индии, а также лечебным учреждениям, расположенным в соседних странах, были предложены услуги по калибровке дозиметров. Такая калибровка осуществляется путем сравнения с эталонами мягких рентгеновских лучей, ортовольтовых рентгеновских и гамма-лучей от  $^{60}\text{Co}$ . После калибровки выдаются свидетельства, в которых указываются коэффициенты калибровки, точность и другие основные данные.

#### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ В ЦЕНТР ПО СОТРУДНИЧЕСТВУ С МАГАТЭ/ВОЗ

На этом этапе развития стало ясно, что лечебные учреждения получили необходимый персонал и оборудование для осуществления достаточно хорошей дозиметрии для клинического применения. Стало также ясно, что достигнут этап, на котором

основной упор нужно сделать на обеспечении того, чтобы оборудование и специальные знания, предоставленные лечебным учреждениям, использовались должным образом и чтобы клиническая дозиметрия, осуществляемая в этих лечебных учреждениях, была достаточно точной и соответствовала уровню уже проделанной работы. В этот момент весьма своевременным явилось преобразование лаборатории в центр по сотрудничеству с МАГАТЭ/ВОЗ в области радиационной дозиметрии вторичных эталонов.

Можно напомнить, что основной целью создания сети ДЛВЭ являлась организация центров для совершенствования радиационной дозиметрии в медицине и радиологической защите. Когда другие страны в этом географическом регионе будут иметь свои национальные установки для калибровки дозиметров, задача центра будет состоять в координации работы этих национальных лабораторий путем проведения взаимных сравнений с целью обеспечения согласованности радиационных измерений и путем продолжения обучения персонала для лабораторий. Один из методов проверки точности и единообразия дозы облучения, которую получают пациенты, проходящие курс радиотерапии, состоит во взаимном сравнении поглощенных доз по почте. Этот метод был введен и усовершенствован МАГАТЭ для радиации  $^{60}\text{Co}$ . Настоящая программа осуществляется на протяжении последних двух десятилетий.

## ТЕРМО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ДОЗИМЕТР (ТЛД), ПРОГРАММА ВЗАИМНОГО СРАВНЕНИЯ

В качестве одной из основных функций ДЛВЭ Тромбейская лаборатория вскоре после ее преобразования в центр по сотрудничеству с МАГАТЭ/ВОЗ начала эту программу взаимного сравнения доз. Эта программа направлена исключительно на получение технического организационного опыта, необходимого для того, чтобы ДЛВЭ могла взять на себя реализацию части международной программы, относящейся к ее региону, и не является дополнением программы МАГАТЭ/ВОЗ. В этом смысле важно, чтобы две программы взаимного сравнения были идентичны, с тем чтобы полученные независимо результаты по каждой из программ были сравнимы и в окончательном итоге могли быть объединены. Ожидается, что две программы будут осуществляться одновременно до тех пор, пока ДЛВЭ достигнет необходимого уровня совершенства. С этой целью Тромбейская ДЛВЭ не только отождествила свою собственную программу с программой МАГАТЭ/ВОЗ, но и объединила партии МАГАТЭ/ВОЗ с двумя партиями ДЛВЭ. После того, как участники облучили капсулы ТЛД, принадлежащие ДЛВЭ и МАГАТЭ/ВОЗ при одинаковых условиях, дозиметры прошли независимую оценку на Тромбейской ДЛВЭ и в МАГАТЭ в Вене и результаты были сравнены (таблица 1).

Для того чтобы проверить совместимость считывающих устройств ТЛД, используемых ДЛВЭ и МАГАТЭ, лаборатория приняла участие в экспериментах МАГАТЭ, и результат взаимного сравнения показал совпадение в пределах 1%. Эксперт, направленный МАГАТЭ/ВОЗ, также произвел проверку калибровки интенсивности пучка  $^{60}\text{Co}$  на выходе путем независимого использования принадлежащего ВОЗ дозиметра вторичных эталонов, откалиброванного в национальной физической лаборатории (NPL). Все эти проверки подтвердили способность Тромбейской ДЛВЭ подготовить свою собственную программу взаимного сравнения ТЛД, которая яв-

**Таблица 1. Сравнение одновременно полученных результатов партий ДЛВЭ-ВОЗ**

Партия ДЛВЭ (номер, присвоенный учреждением)	Партия МАГАТЭ/ВОЗ (номер, присвоенный учреждением)	Отклонения в % (ДЛВЭ)	Отклонения в % (МАГАТЭ/ВОЗ)	Расхождение (%)
7802	1142	- 0,9	+ 1,4	+ 2,3
7804	1143	+ 8,1	+ 10,8	+ 2,7
7805	1144	+ 1,4	+ 2,9	+ 1,5
7806	1145	+ 4,9	+ 6,1	+ 1,2
7807	1146	- 2,8	- 0,5	+ 2,3
7810	1147	- 0,1	+ 3,6	+ 3,7
7811	1148	- 2,8	+ 1,8	+ 4,6
7817	1150	+ 11,3	+ 14,6	+ 3,3
7819	1152	+ 1,6	+ 3,7	+ 2,1
7822	1153	+ 18,1	+ 15,6	- 2,5
7823	1154	- 3,5	- 3,5	0,0
7826	1155	+ 0,4	+ 0,3	- 0,1

ляется точной и в то же самое время сопоставимой по качеству с программой предоставления услуг МАГАТЭ/ВОЗ.

В ходе осуществления этих экспериментов по взаимному сравнению выяснилось, что в большинстве лечебных учреждений Индии нет должным образом откалиброванных дозиметров и что там чрезмерно полагались на значения интенсивности пучка на выходе, выданные этим учреждениям несколько лет тому назад во время загрузки источника. Были отмечены также серьезные ошибки в использовании поправочных коэффициентов в отношении распада  $^{60}\text{Co}$  и в использовании переводных значений. Были предприняты усилия по обучению пользователей, а ошибки в дозиметрии были исправлены путем длительной переписки. Однако в тех случаях, когда отклонения превышали 10%, было сочтено необходимым осуществить измерение интенсивности пучка на выходе.

#### **ОБСЛУЖИВАНИЕ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА НА ВЫХОДЕ**

В ходе первоначальной программы взаимного сравнения ТЛД стало ясно, что эта программа недостаточна для того, чтобы в достаточно короткий период времени добиться во всем регионе точности и единообразия в измерении поглощенной дозы. Точность и единообразие радиационной дозиметрии означают, что все базовые измерения, имеющие отношение к практике радиационной дозиметрии в каждом

из радиотерапевтических центров, должны отвечать национальным стандартам. Это возможно только в том случае, если занимающиеся этими вопросами физики проявят достаточную заботу о том, чтобы обеспечить периодическую повторную калибровку дозиметров и определить возможное изменение их чувствительности путем регулярных измерений с использованием контрольного источника  $^{90}\text{Sr}$ . Кроме того, каждый радиотерапевтический центр должен содержать в идеальном состоянии по крайней мере два дозиметра, один из которых относится к категории вторичных эталонов. Второй дозиметр должен периодически калиброваться в соответствии со вторичным эталоном лично физиком. Затем этот второй дозиметр используется для всех повседневных измерений, в то время как дозиметр вторичного эталона должен рассматриваться в качестве местного эталона и использоваться только в специальных случаях. Во многих случаях повторная калибровка дозиметра игнорируется и в результате измеренная интенсивность терапевтических установок может быть ошибочной на несколько процентов. Это может привести к тому, что пациент получит меньшую или большую дозу. Для того, чтобы путем проведения взаимного сравнения ТЛД выявить те учреждения, в которых это имеет место, тратится много времени, и исправление ошибок путем переписки может, к тому же, уменьшить возможности лечения больных, в частности, в тех случаях, когда ошибка дозиметра очень велика.

Поэтому параллельно с программой взаимного сравнения ТЛД была начата также калибровка интенсивности пучка  $^{60}\text{Co}$  на выходе терапевтических установок. Старший физик ДЛВЭ объехал страну и осуществил измерения интенсивности пучка на выходе для всех облучаемых поверхностей тела и расстояний от источника до опухоли, о проведении которых запрашивало руководство лечебных учреждений. Было также осуществлено сравнение дозиметра лечебного учреждения со вторичным эталоном ДЛВЭ. Тут же выдавались предварительные значения коэффициентов калибровки, и в тех случаях, когда это было необходимо, лечебному учреждению рекомендовалось отправить дозиметр в ремонт или на повторную калибровку в ДЛВЭ. Эта поездка была использована также для того, чтобы убедить радиотерапевтов и физиков каждого лечебного учреждения в необходимости добиваться точности и единообразия в клинической дозиметрии. Отклик, который вызвало у радиотерапевтов и физиков это посещение, свидетельствует об успехе программы. Предлагается продолжить оказание услуг по калибровке и распространить их на все лечебные учреждения географического региона. Одновременно в будущем взаимные сравнения ТЛД будут продолжены и распространены на все центры.

С начала программы ДЛВЭ около 90 учреждений были охвачены взаимным сравнением доз по почте. В это число входят некоторые лечебные учреждения, в которых были проведены повторные взаимные сравнения. Это оказалось необходимым в связи с большими отклонениями в первоначальных результатах и в других случаях в связи с заменой затухших источников. Приятно отметить, что в большинстве лечебных учреждений, где были повторены взаимные сравнения, они показали лучшее совпадение (таблица 2).

## ПОДГОТОВКА В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

Создание программы по подготовке в области медицинской физики в Индии следовало непосредственно за началом осуществления программы в области атомной энер-



Таблица 2. Результаты повторных взаимных сравнений

Номер	Отклонения в % Первое взаимное сравнение	Отклонения в % При повторном взаимном сравнении
1	- 4,5	- 0,9
2	- 1,7	- 1,0
3	- 14,7	+ 8,1
4	+ 2,8	+ 1,4
5	- 9,6	+ 0,7
6	высокая доза	+ 0,6
7	- 7,8	- 2,8
8	- 5,0	- 1,6
9	- 5,0	- 3,0
10	- 3,9	+ 1,6
11	+ 8,9	- 2,8
12	- 5,5	- 5,1
13	+ 44,8	+ 7,9
14	+ 2,9	- 3,3
15	- 8,2	+ 3,4
16	- 1,8	+ 2,4
17	+ 7,1	+ 0,7
18	- 26,4	+ 11,3
19	+ 7,6	+ 1,6
20	- 1,7	- 1,2
21	- 5,8	- 3,9
22	+ 0,2	- 1,3
23	- 3,5	- 3,5
24	- 5,5	+ 0,3
25	- 19,5	- 10,0

гетики. В отличие от передовых стран, где существуют постоянные программы подготовки в области радиологической и медицинской физики, осуществляемые университетами и медицинскими институтами, ни в одном из индийских университетов не было подобной академической программы. В этой связи оказалось необходимым, чтобы Департамент атомной энергетики в начале 60-х годов взял на себя ответственность за осуществление программы подготовки. В 1962 году при активном сотрудничестве с Международной организацией здравоохранения была начата одногодичная программа подготовки аспирантов. На курсах широко рассматривались все аспекты радиации, включая ее применение, а также соответствующие аспекты безопасности. В настоящее время по окончании этих курсов в Бомбейском университете выдается диплом физика-радиолога. До сих пор было проведено 16 курсов, на которых прошло обучение в общей сложности 260 человек, в том числе 30 из других стран Юго-Восточной Азии.

В дополнение к долгосрочным курсам через регулярные промежутки времени проводятся краткосрочные курсы по вопросам безопасности при использовании радиации в медицине и по вопросам безопасности при использовании радиации в промышленности для повышения квалификации радиологов, техников-рентгенологов и других лиц, работающих с источниками радиации.

Опыт лаборатории в Тромбее показал, что цели, поставленные ДЛВЭ, могут быть успешно достигнуты в сотрудничестве с МАГАТЭ/ВОЗ и посредством концентрации усилий в самой ДЛВЭ. Тромбейская ДЛВЭ обладает преимуществом в том смысле, что у нее имеется своя собственная лаборатория первичных эталонов и различные другие установки. Кроме того, так как лаборатория и раньше осуществляла эти функции, то опыт и специальные знания, накопленные на протяжении многих лет, используются для быстрого достижения поставленных целей.