

# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 4-ОГО РЕАКТОРА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ „ПАКШ“ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И СОЗДАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. КИШШ

Кафедра Общей Геодезии Геодезического Института Будапештского  
Политехнического Университета Будапешт Н-1521

Поступило: июль 1989 г.

## Abstract

Commissioned in 1986 to prognosticate displacements of reactor IV of the Paks Nuclear Power Station, then under construction — for the continuation of assembly and for putting in operation — the Institute of Geodesy, TUB, had too short a time (about half a year) available for a purposeful testing that was not feasible earlier, so that the data from this test of limited possibilities, and from earlier, general-purpose foundation displacement tests, were available for evaluating displacements of reactor IV.

Test methods for this information base, mode of utilizing information from similar establishments, and experimental observations will be outlined. Analysis and comparative testing of displacement test results for structural parts each permitted estimations for prognosticating displacements of reactor IV, providing useful information for installing a diagnostic system.

По требованию Предприятия «Атомная электростанция Пакш» Предприятие по проектированию электростанций и тепловых сетей в 1986 году дало поручение Геодезическому Институту Будапештского Политехнического Университета (именуемому в дальнейшем как ГИ БПУ) составить прогноз перемещения строящегося 4-ого реактора с целью продолжения монтажных работ, а также пуска в эксплуатацию.

Для составления прогноза перемещений необходимо знать закономерности процессов перемещения, причины, вызывающие то или иное перемещение, распределение во времени и пространстве перемещений и их механизм действия. Для этого требуется целеустремленное исследование, охватывающее весь период строительства.

В случае 4-го блока до начала монтажа реактора было произведено общецелевое исследование перемещения массива фундамента методом нивелирования I-го класса, однако, не было выполнено исследование для определения закономерностей перемещения реактора и подробное исследование воздействий, вызывающих смещение массива фундамента. Для выполнения целевого исследования в нашем распоряжении имелось сравнительно короткое время (около полугода). Однако из-за ограниченных возможностей и короткой продолжительности этого исследования само по себе оно не могло предоста-

вить достаточное количество информации, поэтому круг информации, предназначенный для определения закономерностей перемещения, мы предусмотрели расширить опытными данными, полученными при исследовании других аналогичных сооружений, в первую очередь именно сведениями, полученными при исследовании смещения по высоте блоков 1, 2 и 3 атомной электростанции «Пакш», построенных приблизительно при одинаковых условиях.

Параллельно с использованием данных, полученных при целевых измерениях, мы предусмотрели исследование перемещений, происходящих в реакторе, в несущей конструкции реактора и в фундаментальной плите реакторного отсека. На основе полученных таким образом экспериментальных данных помимо описания перемещений мы хотели сделать выводы и о связях и взаимодействиях, имеющих место между ними. Кроме того, мы поставили перед собой цель определить приемлемое информационное содержание данных, полученных ранее при исследованиях перемещений, а также определить расположение точек геодезической сети, предназначенной для перспективного исследования смещения реактора.

### 1. Результаты измерений, вовлеченные в исследование и их точность

В интересах расширения информационной базы помимо результатов исследования высотного смещения, установленных ГИ БПУ, мы проанализировали имеющиеся в распоряжении результаты измерений всех исследований различного назначения, выполненных Предприятием геодезии и исследования грунтов и Геодезическим и Картографическим предприятием в г. Печ.

При предварительном отборе данных мы соблюдали условие, в соответствии с которым в подробное исследование нами были вовлечены результаты только таких исследований смещения, которые косвенно или непосредственно указывают на остаточные перемещения реактора и по предположению не связаны со значительными побочными действиями (например, периодическое изменение температуры).

Экспериментальные измерения во всех учреждениях были выполнены с использованием технологии нивелирования 1-го класса. Несмотря на соблюдение требований по единой технологии измерения, точность результатов считается различной, в зависимости от того, при каких условиях и относительно чего было произведено определение высотных отметок, а также от степени накопления ошибок при их определении.

В дальнейшем излагаем данные по исследованию смещений, вовлеченные в подробное исследование, группируя их по точности.

1. Для непосредственного исследования положения реактора предназначены относительные высотные отметки реперов (см. рис. 3), расположен-

ные на главной делительной плоскости реактора. Испытательные измерения 1-го и 2-го реакторов были выполнены в 8-ми точках, а 3-го и 4-го реакторов — в 30-ти точках. Параметры, характеризующие процесс увеличения крена корпуса реактора и рассчитанные на основе результатов измерения, приведены в таблице 3.

Определение относительных высот исследуемых точек, намеченных на основной делительной плоскости реактора, было выполнено с центра, по одной плоскости горизонта инвелира, с однокового расстояния — 1,75 м. Однозначно определенные и намеченные на корпусе реактора исследуемые точки (реперы) не могут перемещаться по сравнению друг с другом. Поэтому эти результаты нами зачисляются в первый класс точности и характеризуются средней квадратической ошибкой, равной  $\pm 0,05$  мм.

2. Определения относительных высотных отметок в 4-ом блоке реактора относительной местной сетки исследуемых точек на уровне  $-6,50$  и  $+7,82$  м, выполненные в 1986—87 годах.

Размещение этих разбивочных сеток приведено на рис. 1 и 2. Сетки реперов на уровне  $-6,50$  м, приведенные на рисунке 1, предназначены для исследования фундаментальной плиты.

Точки на уровне  $-6,50$  м сетки основных высотных реперов реакторной оболочки образуют первую, точки, установленные в колоннах реакторного отделения — вторую, а точки, установленные на центральном бетонном массиве реакторного отделения — третью сеть реперов.

Реперные сети на уровне  $+7,82$  м предназначены для исследования несущей конструкции реактора. Точки основной высотной реперной сети на уровне  $+7,82$  м в реакторном отделении образуют 4-ую, а реперы, установленные на стене «0—1» — 5-ую сеть испытательных реперов.

Параметры, рассчитанные на основе определения относительных высотных отметок реперных сетей 1—5 приведены в таблице 2.

При определении относительных высот реперных сетей 1—5 расстояния при снятии показания составляют 10—15 м, а максимальное количество реперов сети — 13. Благодаря этому полученные разницы высот нами зачисляются во второй класс точности и характеризуются средней квадратической ошибкой, равной  $\pm 0,22$  мм.

3. Определение абсолютных высот реперов основной высотной реперной сети (см. на рис. 1 первую сеть реперов), созданной на фундаментальной плите на уровне  $-6,50$  м, выполненное с марта 81 года, относительно глубоко заложённых реперов атомной электростанции.

Результаты исследования относительно 4-ого блока приведены в таблице 4, а относительно 3-го блока — в таблице 5.

В случае всех 4 блоков основой составления рисунка 4 послужили вовлеченные в исследование значения абсолютных высот реперов, находящихся на фундаментальной плите и точек исследования перемещения.

Изменения вышеперечисленных абсолютных высот нами зачисляются в 3-ый класс точности и характеризуются средней квадратической ошибкой  $\pm 0,56$  м.

## 2. Возможности оценки данных, полученных при исследовании перемещения

Оценка результатов исследования перемещений может производиться на основе расчетов математической статистики или с учетом закономерностей перемещения. При предварительной или автоматизированной оценке данных, полученных при исследовании перемещений, с целью осуществления учета роли погрешностей измерения можно определить диапазоны оценки. Кроме того, относительно критических значений перемещения можем задавать предельные значения.

Для предварительной оценки изложенных данных исследований мы рассчитали те диапазоны достоверности, которые смогут дать информацию о причине исследуемой разности высот: связана ли она в первую очередь с погрешностью измерения, с перемещением или с обоими факторами? При выполнении такого рода расчета мы предполагали, что результаты исследований имеют нормальное распределение и вышеизложенные значения средних квадратических ошибок являются заранее известными.

Симметричный в окрестности ожидаемого значения диапазон описывается следующей формулой:

$$P \left( \underbrace{\bar{a} - u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}}_{\alpha_1} < a < P \left( \underbrace{\bar{a} + u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}}_{\alpha_2} \right) = p$$

А в случае  $a = 0,0$  и  $n = 2$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = u_p \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$$

Уровни вероятности  $p$  мы определили на основе ранее накопленных опытных данных, а значение  $u_p$  в зависимости от принятых уровней  $p$  получили из таблицы нормального стандартного распределения, с учетом зависимости  $p = 2 \Phi(u) - 1$ .

$$p_1 = 0,90$$

$$u_{p1} = 1,65$$

$$p_2 = 0,99$$

$$u_{p2} = 2,58$$

Рассчитывая диапазоны достоверности можно составить таблицу оценки (см. таблицу 1).

Таблица 1

	Классы точности		
	1	2	3
В первую очередь указывает наличие погрешности измерения	$\pm(0,00-0,06)$ мм	$\pm(0,00-0,26)$ мм	$\pm(0,00-0,65)$ мм
Причиной отклонения может служить и погрешность измерения и перемещение	$\pm(0,06-0,09)$ мм	$\pm(0,26-0,40)$ мм	$\pm(0,65-1,02)$ мм
В первую очередь указывает на наличие перемещения	от $\pm 0,09$ мм	от $\pm 0,04$ мм	от $\pm 1,02$ мм

Что касается наклона оси 4-го реактора, то советским специалистом в качестве критической предельной погрешности было определено линейное значение наклона главной делительной плоскости, равное 1 мм, что относительной плоскости, равное 1 мм, что соответствует относительному отклонению оси реактора — 59". Достижение вышеприведенного значения еще не является аварийной ситуацией, требуется лишь переустановка с целью соблюдения требований безопасности.

В случае изменений высот, не достигающих приведенных в таблице 1 предельных значений также можно определить, имеет ли место перемещение и каково его происхождение, если исследовать тенденции и закономерности перемещения.

Повторение во времени или в пространстве высотных изменений с одинаковым знаком говорит о равномерном смещении. Однако если результаты исследований сильно различаются — при предположении, что различия являются следствием наклона и крена — для контроля нашего предположения можно вычислять параметры (направление наклона, угол наклона, координата центра тяжести и показатели достоверности) уравнивающей плоскости поверхности, определяемой высотными изменениями отдельных рассматриваемых периодов, а в последующих друг за другом испытаниях постоянность отдельных параметров в любом случае указывает на наличие процесса перемещения.

Отдельные параметры уравнивающей плоскости могут быть использованы не только для констатирования наличия перемещения, но также и для его исследования по различным аспектам. В случае небольших перемещений помимо параметров уравнивающей плоскости необходимо учитывать и их показатели достоверности.

### 3. Совместная оценка смещения фундаментальной плиты отделения 4-ого реактора, несущей конструкции реактора и самого реактора на основе относительных определений, выполненных в периоде с 1986- по 87 год

Для оценки неравномерного(перемещения конструкций, характеризующихся реперами сеток 1, 2, 3, 4 и 5 и для их сравнительного анализа в случае каждой сети по периодам исследования вычислили параметры (угол наклона уравнивающей плоскости и направление наклона, а также среднюю погрешность угла наклона) уравнивающих плоскостей (т. е. те параметры, которые пригодны для характеристики неравномерного перемещения), определяемых изменениями относительных высот (см. таблицу 2).

Для графической оценки изменений перемещения демонстрируем на рисунках 1 и 2 в векторном виде изменения углов наклона отдельных кон-

Таблица 2

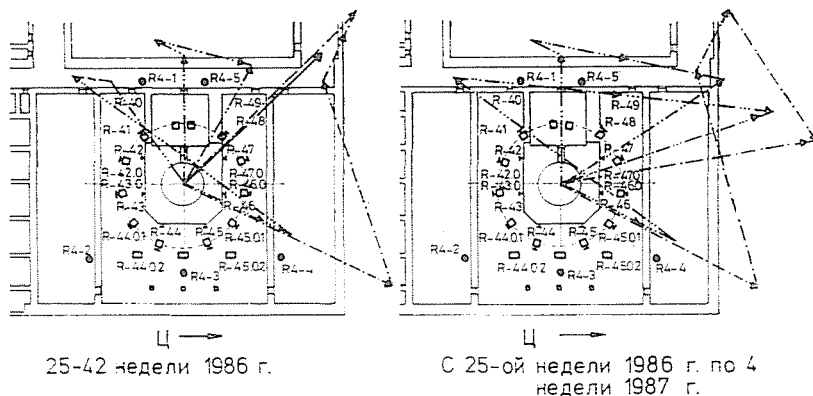
Четвертый блок реактора: Параметры уравнивающей плоскости изменений разностей в высоте, вытекающих из относительного определения, в случае реперных сетей на уровне  $-6,50$  и  $+7,82$  м

Номер сети	1986 25.—33. недели			1986 33.—37. недели			1986 37.—42. недели		
	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$
1	$-7''$	$\pm 1''$	$26^\circ$	$-7''$	$\pm 0''$	$254^\circ$	$-2''$	$\pm 1''$	$299^\circ$
2	$-4''$	$\pm 2''$	$270^\circ$	$-1''$	$\pm 2''$	$199^\circ$	$-3''$	$\pm 1''$	$11^\circ$
3	$-4''$	$\pm 2''$	$26^\circ$	$-9''$	$\pm 1''$	$218^\circ$	$-1''$	$\pm 3''$	$13^\circ$
4	$-6''$	$\pm 1''$	$356^\circ$	$-5''$	$\pm 2''$	$259^\circ$	$0''$	$\pm 1''$	$10^\circ$
5	$-5''$	$\pm 2''$	$9^\circ$	$-5''$	$\pm 3''$	$243^\circ$	$-1''$	$\pm 1''$	$3^\circ$

Продолжение таблицы

	1986 25.—42. недели			1986 1987 42.—4. недели			1986 1987 25.—4. недели		
	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$	$\alpha$	$m(\alpha)$	$\beta$
	$-7''$	$\pm 2''$	$314^\circ$	$-5''$	$\pm 4''$	$55^\circ$	$-8''$	$\pm 1''$	$349^\circ$
	$-4''$	$\pm 2''$	$301^\circ$	$-3''$	$\pm 2''$	$12^\circ$	$-7''$	$\pm 3''$	$327^\circ$
	$-5''$	$\pm 2''$	$232^\circ$	$-10''$	$\pm 1''$	$7^\circ$	$-7''$	$\pm 2''$	$335^\circ$
	$-8''$	$\pm 4''$	$318^\circ$	$-4''$	$\pm 1''$	$87^\circ$	$-6''$	$\pm 4''$	$349^\circ$
	$-5''$	$\pm 2''$	$316^\circ$						

Условные обозначения  $\alpha$  — угол наклона;  
 $m(\alpha)$  — средняя погрешность угла наклона  
 $\beta$  — направление наклона



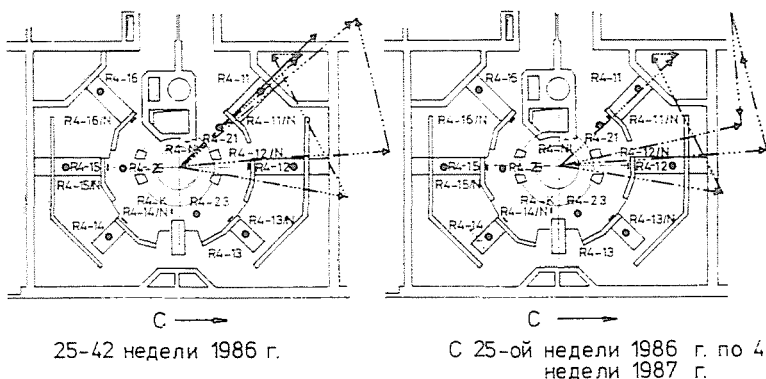
25-42 недели 1986 г.

С 25-ой недели 1986 г. по 4 недели 1987 г.

Условные обозначения:

- 1. Сеть измерительных точек: обозначение точки  $\circ$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$
- 2. Сеть измерительных точек: обозначение точки  $\square$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$
- 3. Сеть измерительных точек: обозначение точки  $\triangle$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$
- Делительная плоскость реактора  $\longrightarrow$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$

Рис. 1. 4-ый блок: Уровень  $-6,50$  м



25-42 недели 1986 г.

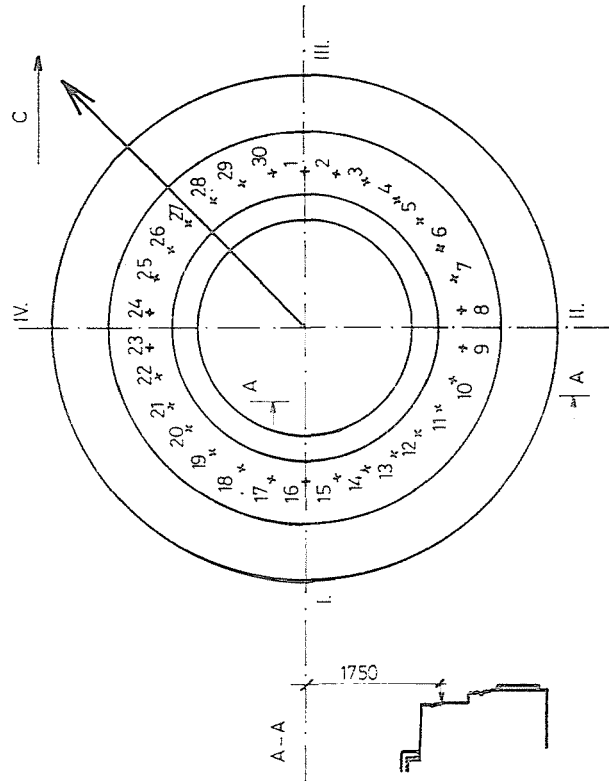
С 25-ой недели 1986 г. по 4 недели 1987 г.

Условные обозначения:

- 4. Сеть измерительных точек: обозначение точки  $\circ$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$
- 5. Сеть измерительных точек: обозначение точки  $\square$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$
- Делительная плоскость реактора  $\longrightarrow$  вектор перемещения  $\dashrightarrow$

Рис. 2. 4-ый блок: Уровень  $+7,82$  м

структивных блоков, происходящих в отдельных периодах исследования. В пределах угла, относящегося к северному направлению наклона уравнивающих плоскостей, угол наклона демонстрируется нами вектором, имеющим длину пропорционально значению угла наклона. На основе вышесказанного можно выполнить сопоставление происходящих по отдельным периодам времени изменений перемещения конструкций, характеризуемых сетями 1—5.



Условные обозначения:

Сеть реперов, установленных в главной делительной плоскости, обозначение точек +  
 вектор перемещения  $\rightarrow$

Рис. 3. Главная делительная плоскость реактора

Измерения точек главной делительной плоскости реактора только на 25-ой неделе (6 месяц) и на 42-ой неделе (10 месяц) были выполнены приблизительно в одинаковое время с измерением остальных сетей, поэтому непосредственный сопоставительный анализ данных перемещения конструкций, характеризующихся сетями 1—5, можно выполнить на основе параметров уравнивающей плоскости (угол наклона —  $6''$ , средняя погрешность угла наклона:  $\pm 1''$ , направление наклона  $315^\circ$ ), характеризующейся перемещением реактора в данном периоде.

В остальных периодах исследования сопоставление значений наклона реактора из-за отличия во времени проведения различных исследований может производиться только косвенным путем, поэтому не являлось обоснованным обратотать результаты, относящиеся к основной делительной плоскости реак-



Таблица 3

Параметры, рассчитанные на основе результатов контрольных, измерений, по главной делительной плоскости реактора

Номер реакт.	Дата измер.	К-во изм. точек.	Г. делительной плоскости		Данный уравн. плоскости			Изменение значения $\Delta z$ /месяц	Смещение оси реактора на длину 11 м
			диаметр (М)	най-больш. вы-сотн. раз-ность (мм)	угол накл. $\alpha$	$m(\alpha)$	дирекция уклона		
1	1985.05.26	4	3,5	0,32	-19''	$\pm 8''$	108°		1,01 мм
	1986.02.07	4	3,5	0,40	-24''	$\pm 8''$	90°	-0,7''	1,28
	1986.06.06	8	3,5	0,32	-19''	$\pm 5''$	16°	+0,7''	1,01
0,00''									
2	1984.01.16	8	3,5	0,76	-45''	0''	156°		2,40
	1985.10.06	8	3,5	0,25	-15''	$\pm 3''$	151°	+1,4''	0,80
	1986.10.04	8	3,5	0,33	-20''	$\pm 3''$	165°	-0,4''	1,07
-0,76''									
3	1986.05.15	8	3,5	0,29	-17''	$\pm 4''$	260°		0,91
	1986.05.29	30	3,5	0,39	-23''	$\pm 1''$	284°	-12,0	1,23
	1986.06.19	30	3,5	0,27	-16''	$\pm 1''$	291°	+10,6''	0,85
	1986.07.31	30	3,5	0,37	-22''	$\pm 1''$	282°	-4,6''	1,17
-2,00''									
4	1986.05.04	8	3,5	0,53	-31''	$\pm 1''$	350°		1,65
	1986.05.20	8	3,5	0,53	-31''	$\pm 1''$	351°	0,0''	1,65
	1986.05.29	30	3,5	0,59	-35''	$\pm 1''$	340°	-13,0''	1,86
	1986.06.12	30	3,5	0,58	-34''	$\pm 1''$	341°	+2,5''	1,81
	1986.07.04	30	3,5	0,59	-35''	$\pm 1''$	343°	-1,6''	1,86
	1986.08.26	30	3,5	0,66	-39''	$\pm 1''$	342°	-0,6''	2,08
	1986.10.13	30	3,5	0,68	-40''	$\pm 1''$	335°	-0,6''	2,13
	1987.01.08	30	3,5	0,68	-40''	$\pm 1''$	335°	0,0''	2,13
-1,12''									

тора вышеописанным способом. Точки основной делительной плоскости реактора при их исходной установке в принципе составили горизонтальную плоскость. Поэтому при исследовательских измерениях основной делительной плоскости реактора параметры уравнивающей плоскости, определяемой высотными отметками отдельных точек местной системы, дают значение (абсолютное) крена основной делительной плоскости или оси реактора по срав-

нению с проектным положением. Эти параметры и рассчитанные на их основе другие значения оценки — например, скорость перемещения и т. д. — приведены в таблице 3. Они служат основой самостоятельной оценки, но также могут использоваться и для сопоставительных анализов.

### *3.1. Сопоставительный анализ и оценка, выполняемые на основе данных, полученных в периоде с 25 по 42 недели*

Величина и направление наклона реактора показывают хорошее совпадение с параметрами крена несущей конструкции исследуемого реактора; однако, что касается крена отдельных частей фундаментальной плиты, то совпадение наблюдается здесь только в основных тенденциях, а с другими частями фундаментальной плиты (сеть номер 1) реактор совершает приблизительно одинаковое движение.

На основе вышеописанного можно сделать вывод, что перемещение реактора наиболее точно отражается теми точками несущей конструкции реактора, которые располагаются вблизи реактора, но тем-не менее перемещение реактора можно характеризовать и подходящим образом выбранными точками фундаментальной плиты.

### *3.2. Сопоставительный анализ и оценка, выполняемые на основе данных, полученных в течении всего исследования*

Фундаментальная плита, несущая конструкция реактора и реактор в отдельных периодах исследования совершают наклонное движение, хотя в различных направлениях, но приблизительно по одинаковой тенденции. Крен в отдельных периодах изменяется по следующим направлениям: северо-восток, юго-запад — северо-запад — северо-восток. По нашим наблюдениям наибольшее изменение направления перемещения было выявлено у фундаментальной плиты, а наименьшее — у реактора. Если рассматривать равнодействующие перемещения, полученные на основе длительного периода исследования, то их параметры свидетельствуют о том, что совпадение в тенденциях смещения между отдельными конструкциями возрастает и направление крена также ограничивается на северо-западный, западный сектор.

Вышеприведенные факты подтверждают выдвинутое нами предположение о том, что перемещение отдельных конструкций в первую очередь определяется перемещением фундаментальной плиты — а неравномерное перемещение фундаментальной плиты является следствием изменения нагрузок. Предполагается, что значительное изменение направления перемещения фундаментальной плиты возникло в результате приложения значительных нагрузок в периоде с августа до декабря 1986 года на локализационную башню, находящуюся в западном направлении от реактора.

На основе результатов исследования предполагается, что под действием изменения распределения нагрузок разные части фундаментальной плиты совершают различное движение.

Несущая конструкция реактора воспринимает только движение мест подпора, являющихся определяющими с точки зрения конфигурации сил; при передаче этих перемещений реактору благодаря собственному перемещению они затухают. Когда мы сделали свои выводы, нам необходимо было учесть и влияние погрешностей измерения и погрешностей определения параметров уравнивающей плоскости. В отдельных периодах исследования при равнодействующих перемещениях, относящихся к длительному периоду исследования, наблюдалось уменьшение совпадения направления наклона с углом наклона. Все это указывает на то, что кроме неизвестных побочных действий значительную роль играют и ошибки определения. При небольших перемещениях, выявленных в течении короткого периода времени значение относительной ошибки возрастает.

В соответствии с определениями разделов 3.1. и 3.2. характеристика перспективного перемещения реактора, а также определение закономерностей его перемещения — из-за препятствий, имеющих в окрестности реактора — по всей вероятности осуществимы исследованием первой сети реперов. Однако на основе ранее полученных результатов исследования перемещения массива фундамента обоснованным является более подробное исследование закономерностей перемещения массива фундамента 4-ого отделения реактора.

#### **4. Исследование перемещений и закономерностей перемещения фундаментальной плиты 4-ого реакторного блока с учетом длительных наблюдений и результатов сравнительного анализа**

##### *4.1. Исследование неравномерных перемещений*

а) На основе оценки относительных измерений проводимых в течении короткого периода времени относительно приведенных в предыдущем разделе сетей исследуемых точек 1, 2 и 3, установлено, что точки фундаментальной плиты, находящиеся в окрестности реакторного отделения — предполагается, что в зависимости от режима нагрузки — совершают изменяющееся (в зависимости от места и времени) перемещение, но разнодействующее влияние перемещений имеет северо-западное, северное направление.

б) Горизонталы, начерченные с использованием значений перемещения (осадки) высотных реперов главного корпуса номер 2, зафиксированных в периоде с марта 1981 года по март 1985 года (см. рисунок 4) наглядно демонстрируют деформации фундаментальной плиты, происходящие при осадке.

Основные закономерности деформации фундаментальной плиты:

— Фундаментальная плита как у 3-го, так и у 4-го блока прогибается.

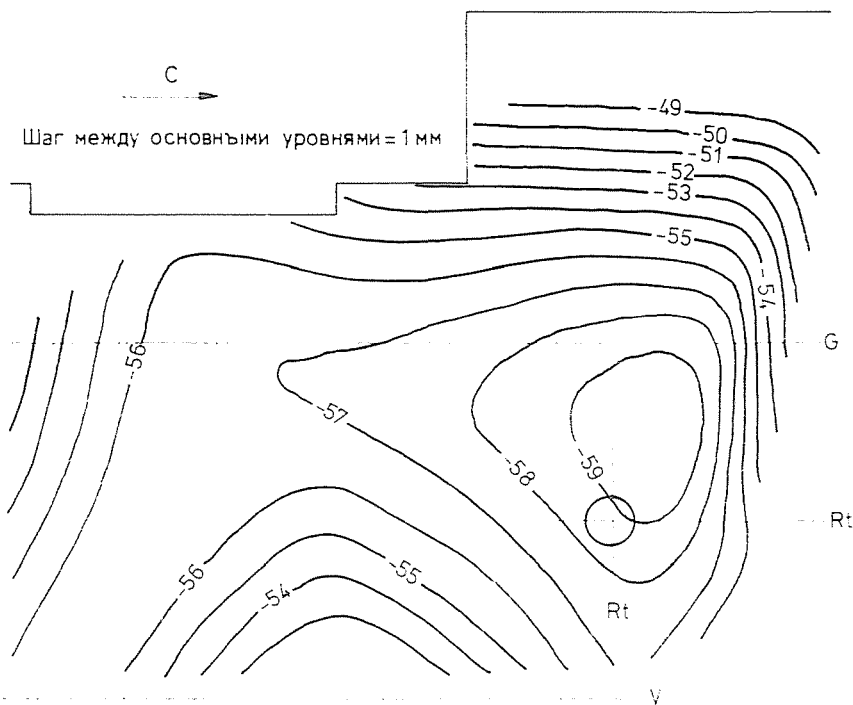


Рис. 4. Деформационная поверхность фундаментальной плиты 4-ого блока

— Прогиб фундаментальной плиты (из-за эксцентричной нагрузки) имеет центр не у реактора, благодаря чему фундаментальная плита реакторного отделения находится на склоне деформированной поверхности, имеющей приблизительно такой же прогиб и примерно северо-западное направление.

— Вся фундаментальная плита показывает небольшой крен в северном направлении.

в) На основе результатов исследований точек перемещения главного корпуса в периоде с ноября 1981 года по декабрь 1986 года установлено, что направление наклона уравнивающей плоскости смещения фундаментальной плиты 4-ого блока составляет  $0^\circ$ , а угол наклона —  $23''$ . По основным тенденциям эти параметры совпадают с изложенными в разделе 3. Однако прогиб фундаментальной плиты в небольшой степени отличаются (предполагается, изменением нагрузок, происходящих в течении года).

г) Поведение фундаментальной плиты в непосредственной близости реакторного отделения мы исследуем с использованием параметров перемещения, полученных с учетом контрольных определений абсолютных высотных отметок, выполненных с марта 1981 года относительно установленных в фундаментальной плите реперов основных высотных реперных сетей реакторной оболочки. С этой целью с использованием данных таблиц 4 и 5 на

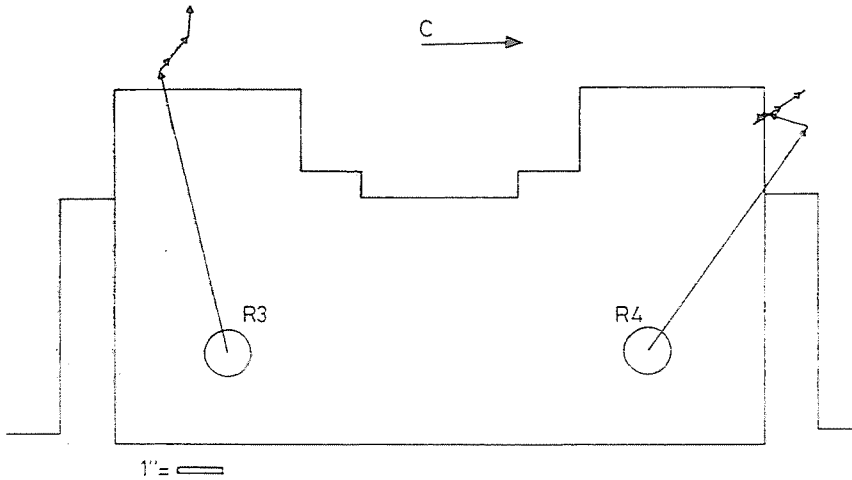


Рис. 5. Процесс наклона части фундамента фундаментальной плиты, характеризующий измерительными сетями № 1 у 3-его и 4-ого блоков

основе значений осадков, полученных в различных периодах исследования мы рассчитали уравнивающие плоскости поверхностей, определяемых этими осадками. Параметры уравнивающих плоскостей приведены в таблицах 6 и 7.

С помощью параметров уравнивающей плоскости на рисунке 5 мы демонстрируем в векторном виде направление и угол наклона (и их изменения) фундаментальной плиты реакторных отсеков 3 и 4.

Базируясь на данных таблиц 6 и 5 можно установить, что в окрестности 4-го реакторного отсека происходит непрерывный наклон фундаментальной

Таблица 4

4-ый блок реактора: высотные данные и параметры перемещения реперов основной высотной геодезической сети, установленной в реакторной оболочке на уровне 6,50 м

	1981.03 (0. м-ц)		1981.09 (6. м-ц)		1982.09 (18. м-ц)		
	М	М	D	$\Sigma D$	М	D	$\Sigma D$
R4-1	90,4301	90,4240	-6,1	-6,1	90,4077	-16,3	-22,4
R4-2	90,3871	90,3808	-6,3	-6,3	90,3672	-13,6	-19,9
R4-3	90,4457	90,4386	-7,1	-7,1	90,4279	-10,7	-17,8
R4-4	90,4092	90,4028	-6,4	-6,4	90,3948	-8,0	-14,4
R4-5	90,4264	90,4209	-5,5	-5,5	90,4071	-13,8	-19,3
Среднее	90,4197	90,4134	-6,3	-6,3	90,4009	-12,5	-18,8
Скорость перемещения/мм/месяц			1,05		1,04		

Продолжение таблицы

1983.08 (29. м-ц)			1985.03 (48 м-ц)		
М	D	ΣD	М	D	ΣD
90,3827	-25,0	-47,4			
90,3407	-26,5	-46,4	90,3325	-8,2	-54,6
90,4003	-27,6	-45,4	90,3894	-10,9	-56,3
90,3668	-28,0	-42,4	90,3538	-13,0	-55,4
90,3804	-26,7	-46,0	90,3661	-14,3	-60,3
90,3742	-26,7	-45,5	90,3622	-12,0	-57,5
	2,43			0,63	

Продолжение таблицы

1985.06 (51 м-ц)			1985.09 (54. м-ц)		
М	ΣD	D	М	D	ΣD
90,3668		-63,3	90,3645	-2,9	-65,6
90,3335	+1,0	-53,6	90,9296	-3,9	-57,5
90,3865	-2,9	-59,2	90,3858	-0,7	-59,9
90,3500	-3,3	-59,2	90,3480	-2,0	-61,2
90,3621	-4,0	-64,3	90,3595	-2,6	-66,9
90,3598	-2,4	-59,9	90,3575	-2,3	-62,2
	0,80			0,77	

Продолжение таблицы

1985.12. (57. м-ц)			1986. 06. (65. м-ц)		
М	D	ΣD	М	D	ΣD
90,3620	-1,7	-67,3	90,3590	-3,0	-70,3
90,3276	-2,0	-59,5	90,3255	-2,1	-61,6
90,3840	-1,8	-62,7	90,3811	-2,9	-64,6
90,3461	-1,9	-69,1	90,3431	-3,0	-66,1
90,3582	-1,3	-60,2	90,3549	-3,3	-71,5
90,3557	-1,8	-64,0	90,3529	-2,8	-66,8
	0,60			0,47	

Продолжение таблицы

1986.09 (66. м-ц)		
M	D	$\Sigma D$
90,3571	-2,7	-73,0
90,3235	-2,0	-63,6
90,3787	-2,4	-67,0
90,3405	-2,6	-68,7
90,3519	-3,0	-74,5
90,3503	-2,6	-69,4
0,87		

Продолжение таблицы

1987.01. (70. м-ц)			1987.04 (73. м-ц)		
M	D	$\Sigma D$	M	D	$\Sigma U$
			90,3543		-75,8
90,3205	-3,0	-66,6	90,3202	-0,3	-66,9
90,3755	-3,2	-70,2	90,3751	-0,4	-70,6
90,3370	-3,5	-72,2	90,3365	-0,5	-72,7
90,3489	-3,0	-77,5	90,3488	-0,1	-77,6
90,3471	-3,2	-72,6	90,3470	-0,2	-72,7
0,80			0,07		

Условные обозначения:

- M — абсолютная высота
- D — относительное перемещение
- $\Sigma D$  — суммарное перемещение

Таблица 5

3-тий блок реактора: Высотные и параметры перемещения реперов основной высотной геодезической сети, установленной в реакторной оболочке на уровне -6,50 м

	1981.03 (0. м-ц)		1981. 09 (6. м-ц)		1982.09 (18. м-ц)		
	M	M	D	$\Sigma D$	M	D	$\Sigma D$
R3-1	90,3519	90,3470	-4,9	-4,9	90,3229	-24,1	-29,0
R3-2	90,3555	90,3498	-5,7	-5,7	90,3288	-21,0	-26,7
R3-3	90,3359	90,3304	-5,5	-5,5	90,3089	-21,5	-27,0
R3-4	90,3760	90,3703	-5,7	-5,7	90,3469	-23,4	-29,1
R3-4	90,3873	90,3796	-7,7	-7,7	90,3552	-24,4	-32,1
Среднее	90,3613	90,3554	-5,9	-5,9	90,3325	-22,9	-28,8
Скорость перемещения/мм/м-ц	0,98			1,91			

Продолжение таблицы

1986.08 (29. м-ц)			1985. 06 (51. м-ц)		
М	D	ΣD	М	D	ΣD
90,3126	-10,3	-39,3	90,2940	-18,6	-57,0
90,3180	-10,8	-37,5	90,8039	-14,1	-52,6
90,2980	-10,9	-37,9			
90,3364	-10,5	-39,6	90,3233	-13,1	-52,7
90,3445	-10,7	-42,8	90,3260	-18,5	-61,3
90,3219	-10,5	-39,4	90,3060	-15,9	-55,3
	0,96			0,72	

Продолжение таблицы

1985.09 (54. м-ц)			
М	D	UD	
90,2935	-0,5	-58,4	
90,3037	-0,2	-51,8	
90,3233	0,0	-52,7	
90,3259	-0,1	-61,4	
Среднее	90,3060	0,0	-55,9
Скорость перемещения мм/м-ц		0,00	

Продолжение таблицы

1985.12 (57. м-ц)			1986.06 (63. м-ц)			
М	D	ΣD	М	D	ΣD	
90,2917	-1,8	-60,2	90,2900	-1,7	-61,9	
90,3023	-1,4	-53,2	90,3006	-1,7	-54,9	
			90,2820		-53,9	
90,3225	-0,8	-53,5	90,3208	-1,7	-55,2	
90,3243	-1,6	-63,0	90,3225	-1,3	-64,8	
Среднее	90,3047	-1,3	-56,6	90,3032	-1,5	-58,1
Скорость меремещения мм/м-ц	0,43			0,25		

Условные обозначения:

- М — абсолютная высота  
D — относительное перемещение  
ΣD — суммарное перемещение



Таблица 6

4-ый блок реактора: Параметры уравнивающей плоскости высотных изменений реперов, происходящих в рассматриваемом периоде в основной высотной сети, установленной в реакторной оболочке на уровне -6,50 м

	§1.03— §6.09 (51 м-ц)	§5.06— §5.09 (3 м-ц)	§5.09— §5.12 (3 м-ц)	§5.12— §6.06 (6 м-ц)	§6.06— §6.09 (3 м-ц)	§6.09— §7.01 (4 м-ц)	§7.01— §7.04 (3 м-ц)
Угол наклона	-60''	-11''	-3''	-7''	-6''	-8''	-3''
Скорость изменения угла наклона	1,2''/мес.	3,7''/мес.	1,0''/мес.	1,2''/мес.	2,0''/мес.	2,0''/мес.	1,0''/мес.
Достоверность определения угла наклона	±18''	±12''	±2''	±2''	±1''	±3''	±0''
Угол направления наклона	306°	194°	126°	329°	317°	27°	63°
Средне весовая высота плоскости (изменение средней высоты)	-59,9 мм	-2,3 мм	-1,8 мм	-2,8 мм	-2,6 мм	-3,2 мм	-0,3 мм

Таблица 7

3-ий блок реактора: Параметры уравнивающих плоскостей высотных изменений, происходящих в рассматриваемом периоде в основной геодезической высотной сети, установленной в реакторной оболочке на уровне -6,50 м

	§1.03—§5.06 (51 м-ц)	§5.06—§5.09 (3 м-ц)	§5.09—§5.12 (3 м-ц)	§5.12—§6.06 (6 м-ц)
Угол наклона	-64''	-3''	-6''	-6''
Скорость изменения угла наклона	1,2''/мес.	1,0''/мес.	2,0''/мес.	1,0''/мес.
Достоверность определения угла наклона	±16''	±2''	0''	±7''
Угол направления наклона	256°	319°	308°	273°
Средне весовая высота плоскости (изменение средней высоты)	-55,9 мм	-0,2 мм	-1,4 мм	-1,4 мм

плиты. Направление наклона по отдельным периодам изменяется, но в основном показывает северо-западное направление. По аналогичным закономерностям происходит смещение и фундаментальной плиты 3-его реакторного отделения (см. таблицу 7 и рисунок 5).

В обоих случаях исходя из основной тенденции смещения мы можем сделать вывод, что причина этого смещения заключается в геометрически несимметричном оформлении здания реактора и в несимметричном распределении воспринимаемых им нагрузок.

#### 4.2. Исследование процесса полней осадки фундаментальной плиты

Процесс смещения (осадки) фундаментальной плиты 4-ого реакторного отделения мы характеризуем с помощью параметров перемещения, полученных на основе измерений абсолютных высотных отметок, выполненных с марта месяца 1981 года относительно установленных в фундаментальной плите реперов основной высотной геодезической сети реакторной оболочки 4-ого блока, в сравнении с реперами атомной электростанции. Результаты исследования перемещения для изучения процесса осадки приведены в таблице 4, а на рисунке 6 перемещение реперов изображается и в графическом виде. Кривая, начерченная в качестве результирующей линии дает нам среднее перемещение 5 точек.

Закономерность процесса осадки фундаментальной плиты математически можно описать уравнением соприкасающиеся уравнивающей кривой. Для формулирования условий описания соприкасающейся кривой, предназначенной и для прогностики, мы выполнили сравнительный анализ.

Основой сравнения послужили результаты исследования 3-го, 1-го и 2-го блоков, построенных при аналогичных условиях (см. таблицу 5 и рисунки 7 и 8). В случае 3-го блока установка сети исследуемых точек, а также время

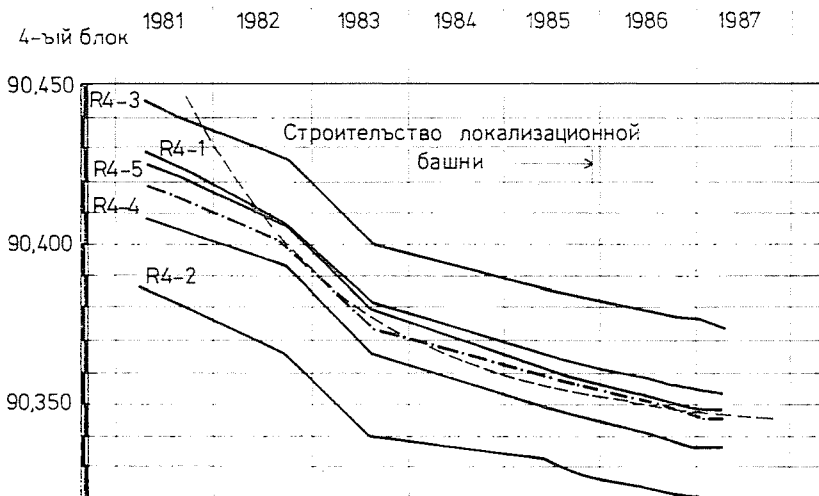


Рис. 6. Кривые осадки фундаментальной плиты 4-ого блока

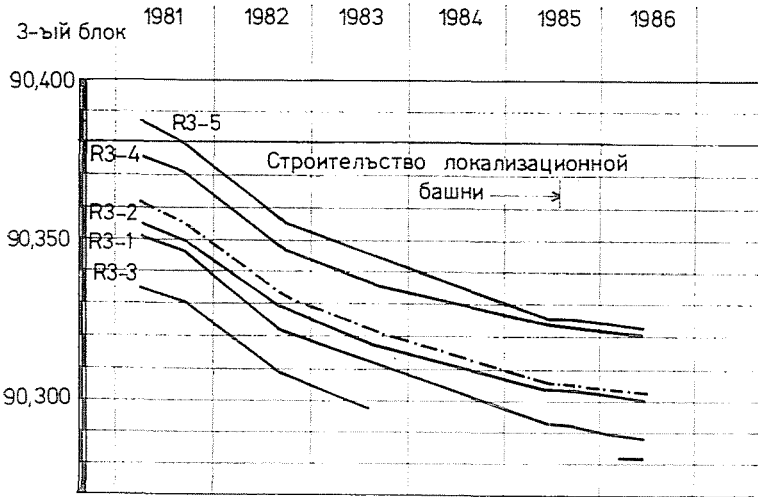


Рис. 7. Кривые осадки фундаментальной плиты 3-его блока

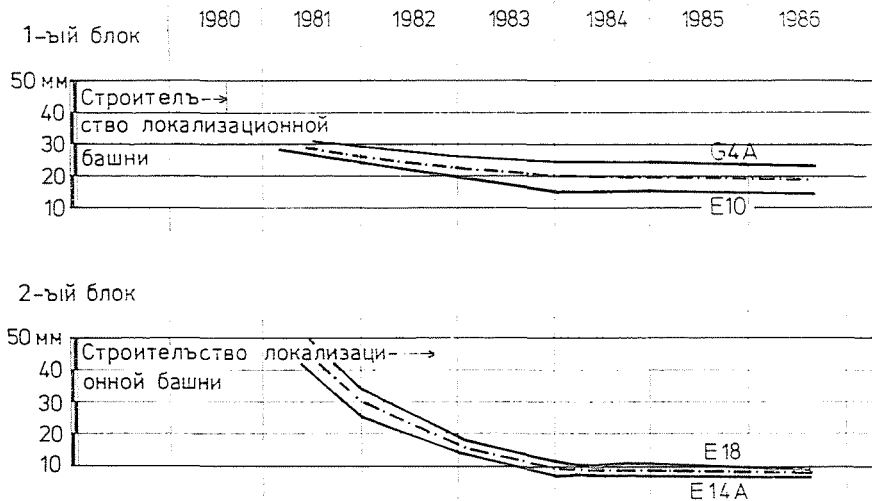


Рис. 8. Кривые осадки фундаментальных плит первого и второго блоков

и характер исследования являлись аналогичными, что позволяет осуществить подробное сопоставление. Графическое сопоставление можно осуществить наложением друг на друга кривых осадки 3-го и 4-го блоков, на основе времени окончания строительства локализационной башни или на основе увеличения времени строительства, составляющего почти 1 год. При наложении кривых друг на друга видно, что их средние значения с достаточной точностью совпадают, что свидетельствует о приблизительно одинаковых закономер-

ностях осадки. Что касается небольших отклонений, то дальнейшее рассмотрение стоит проводить относительно процесса осадки 4-го блока, происходящего в периода от 1986 до 1987 года. При этом в качестве основы для сопоставления фигурируют параметры перемещения по 2 точки первого и второго блоков (см. рис. 8). Здесь мы не имеем полную кривую осадки. На основе сравнительного анализа кривых, изображенных на рисунке 8 видно, что последний участок кривой смещения 4-го блока не указывает на чрезвычайное поведение, поэтому можем сделать вывод, что о консолидации (значит, когда ожидаются только небольшие смещения) можно говорить только за 1,5—3 года после окончания строительства локализационной башни; до этого однако ожидается еще соадка величиной более 1 см.

Упомянутые соображения представляют основу прогноза и оказывают содействие при математическом формулировании кривой осадки, а также при определении необходимых средневесовых соотношений при описании уравнивающей кривой.

Уравнение наиболее оптимальной соприкасающейся кривой имеет следующий вид:

$$Y = 2,226165 / (X + 9,729468) + 90,321678$$

где X — представляет собой порядковый номер месяца измерения, а Y — расчетную высоту кривой осадков.

Расчетные координаты уравнивающей кривой, определяемой вышеприведенным уравнением приведены в таблице 8.

На рисунке 6 уравнивающая кривая изображена жирной прерывистой линией.

Таблица 8  
Значения уравновешенной кривой осадки

Месяц	Расчетная величина	Измеренная величина
0	90,5292	90,4197
6	90,4547	90,4134
18	90,3932	90,4009
29	90,3777	90,3742
48	90,3596	90,3622
51	90,3577	90,3598
54	90,3561	90,3575
57	90,3545	90,3557
53	90,3519	90,3529
66	90,3507	90,3503
70	90,3493	90,3471
73	90,3483	90,3470
79	90,3465	
91	90,3436	
103	90,3413	
115	90,3394	

## 5. Опыт анализа результатов исследования перемещения

а) Во время исследования консолидация 4-го реактора еще не наступила, но процессы его перемещения показали постепенно замедляющую тенденцию. На основе математического сформулирования кривой осадков в течении последующих 4-х лет ожидаются еще осадки величиной 11 мм. На основе подробного исследования массива фундамента и сравительных данных, а также данных таблицы 3 установили, что наклон оси реактора продолжается, но постепенно будет уменьшаться и величина наклона по предположениям не достигнет критического значения. Направление наклона немного изменяется, но с большой вероятностью останется в пределах северо-запад, запад.

б) Обустроенную на фундаментальной плите систему измерения, предназначенную для исследования перемещения реактора следует распространить и на исследование несущих стен, ограждающих реакторное отделение. Мы учли этот опыт при проводимых в настоящее время исследованиях, преследующих цель составления перспективного прогноза.

в) При строительстве 5-го и 6-го реакторных блоков в соответствии с выдвинутыми нами ранее предложениями будет устанавливаться современная система диагностики перемещения. При установке этой системы мы учли опыт, накопленный во время настоящего исследования, поэтому вблизи главных несущих стен мы исследуем несущее покрытие и фундаментальную плиту.

### Литературы

1. DETREKŐI, Á.: Über die Rolle der Zeit in der Planung ingenieurgeodätischer Deformationsmessungen. FIG III. International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods. Budapest 1982.
2. KISS, A.: Deformation measurement of the localizing tower under overpressure of a nuclear power station RILEM ACI International Symposium on Long-Term Observation of Concrete Structures. Budapest 1984.
3. KÖRÖSI, M., NÉMETH, A.: A Paksi Atomerőmű jelenlegi mozgásvizsgálati és távlati tervei. Mérnökgeodéziai mozgásvizsgálatok szeminárium kiadásában Sopron 1987.
4. MISKOLCZI, L.: Practical Experiences in Determination of Structure Movements. Geodézia és Kartográfia Budapest 1980/1. (In Hungarian)
5. ТИЕРВАСН, Н.: Deformationsmessungen in Kraftwerken FIG III. International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods. Budapest, 1982.
6. Paksi Atomerőmű IV. blokk. A reaktor 30 éves mozgásprognózisához végzett magassági értelmű mozgásvizsgálati eredmények értékelése. Kéziratban kiadta: BME Geodéziai Intézet 1987.