

## ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ ГЛАВНОГО КОРПУСА ОДЕССКОЙ ТЭЦ

**Голубков В.Н.**

**Колесников Л.И., Кодрянова Р.М., Карпюк В.М.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В 1967 году выполнены исследования сжимаемости грунтов основания главного корпуса ТЭЦ с применением глубинного компрессометра ГК2-ОИСИ (сваи-марки), результаты которых положены в основу прогноза осадок фундаментов колонн, турбогенераторов и котлов, а также сроков стабилизации деформаций. Данные геодезических измерений осадок за последующие 25 лет служат подтверждением достоверности принятой методики.

Одесская ТЭЦ расположена в северо-западной части г.Одессы на расстоянии 3,5 км от центра города и 1 км от берега моря.

Строительство главного корпуса ТЭЦ начато в довоенное время. До 1941г. была выполнена часть свайного поля первой очереди строительства. В 1948г. были возобновлены строительные работы. Пуск первой очереди осуществлен в 1950г., второй – в 1954г., третьей – в 1957г. Наблюдения за состоянием строительных конструкций здания и деформациями основания начаты в 1958 году ОРГРЭС Союзглавэнерго и проводились в течение 34 лет. Еще до начала строительства и в процессе возведения отдельных объектов ТЭЦ ученые Одесского инженерно-строительного института оказывали консультативную помощь (проф. Н.Н.Зарембо-Владычанский, 1936г.; проф.

В.Н.Голубков, 1951г.) в связи с неоднозначной оценкой свойств грунтов основания.

Строительство ТЭЦ осуществлялось в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях Пересыпи, расположенной между Куяльницким и Хаджибеевским лиманами и Черным морем, аккумулятивная деятельность которых определила состав и свойства напластований.

Лиманно-морские четвертичные отложения можно разделить на два яруса. Под насыпным слоем неоднородного состава залегают мелкие и пылеватые пески с примесью дробленной ракушки, заиленные, средней плотности ( $\rho_d=1,5...1,6$  г/см<sup>3</sup>), с модулем деформации 8...15 МПа. Мощность песков 6...12 м. Пески подстилаются толщей слабых водонасыщенных глинистых грунтов – илов, заиленных глин, суглинков, супесей, мощность которых достигает 15...30 м. Они характеризуются следующими показателями:  $\rho_d=1,20...1,35$  г/см<sup>3</sup>;  $E=2...5$  МПа. На глубине 30...40 м от поверхности залегают суглинки и глины сарматского яруса неогена.

Гидрогеологические условия площадки характеризуются наличием двух горизонтов подземных вод. Первый встречен при бурении на глубине 1,7...2,5 м от поверхности (абс. отметки +0,4...-0,4 м). Второй, напорный, горизонт подземных вод находится на глубине около 30 м и гидравлически связан с первым. На площадке наблюдается колебание уровня подземных вод в отдельные годы до 0,5 м, а в период интенсивного выпадения осадков он повышается до дневной поверхности.

Несущие конструкции каркаса здания – металлические, стены – из кирпича и известняка-ракушечника, перекрытия – монолитные железобетонные по металлическим балкам, покрытие – из сборных мелкогабаритных плит и профилированного стального настила.

Машинный зал пролетом 20 м и котельное отделение с пролетами 16 м (I очередь) и 27 м (II и III очереди) примыкают к бункерно-деаэрационному отделению. Общая ширина здания 60,75 м (I очередь) и 77,5 м (II и III очереди). Длина здания 233 м: I очередь – 56 м; II – 86 м; III – 91 м.

В машинном зале установлено 6 турбогенераторов, в котельном отделении – 10 котлов.

Фундаменты под колонны I очереди запроектированы на призматических сваях длиной 4 м. Свайными приняты и фундаменты турбогенераторов (длина свай 6 м). Остальные фундаменты на естественном основании. Глубина заложения фундаментов и подошвы свайных ростверков – 3,5 м.

Фундаменты мелкого заложения запроектированы, исходя из величины расчетного давления на грунт  $R=150$  кПа, и приняты столбчатые с размерами подошвы до 4,0x5,5 м; 5,4x6,0 м; ленточные – под ряд колонн шириной 6,5 м и плитные под два и три ряда колонн шириной 13 м и 19 м.

На участках II и III очередей строительства суммарная площадь подошвы фундаментов составляет 40...60% площади застройки. Фундаменты котлов примыкают к фундаментам колонн котельного отделения. Расстояние между плитными фундаментами бункерно-деаэрационного отделения и столбчатыми фундаментами машзала составляет 1,5 м. Расстояние между столбчатыми фундаментами в ряду – 1,1...2,5 м.

В течение 1958-1962г.г. ОРГРЭС было проведено 6 циклов наблюдений за осадками фундаментов колонн, турбогенераторов, котлов, измерены деформации подкранового пути машинного зала. За указанный период осадки свайных фундаментов колонн I очереди строительства составили 9...28 мм, турбогенераторов и котлов – 24...40 мм. Максимальные осадки наблюдались в зоне стыковки II и III очередей (оси 22-23) и составили для фундаментной плиты 91 мм. Осадки фундаментов котлов, расположенных в этой зоне, равны 84 мм; деформации подкрановых путей машзала достигли величины 195 мм по среднему ряду колонн и 87 мм по крайнему ряду колонн.

В целом по главному корпусу ТЭЦ отмечалось нарастание осадок от торцов здания к его средней части. В поперечном направлении наблюдалась такая же тенденция. При этом была отмечена опасность нарушения устойчивости сооружения в связи со значительной неравномерностью деформаций основания и нарастанием осадок некоторых фундаментов, расположенных на участках II и III очередей строительства, в том числе

турбогенераторов №5 и №6, где деформации практически не затухали и превышали предельные среднегодовые в 10 раз и более.

Отмечая тот факт, что деформации песчаных грунтов происходят в основном в строительный период, и анализируя развитие осадок во времени, авторы наблюдений делают вывод о том, что суммарные осадки с начала строительства превышают предельно допустимые. Причинами неравномерных и значительных по величине деформаций были названы: плывунные свойства песков, залегающих под подошвой фундаментов; неоднородность грунтов основания; завышение расчетного сопротивления грунта; влияние вибрационных нагрузок на деформации уплотненных мелких и пылеватых песков. Отмечалась надежность свайных фундаментов I очереди и возможность случаев деформации конструкций II и III очередей вследствие происходящих процессов.

К концу апреля 1967 г., т.е. за следующие 5 лет наблюдений, осадки фундаментов колонн, расположенных на осях 22-23, достигли величины 137..159 мм; фундаментов турбогенераторов №5 и №6 — 113 мм и 120 мм; фундаментов котлов №8 и №9 около 150 мм. Средняя скорость нарастания осадок составила 10 мм в год и более. Относительная разность осадок в некоторых пролетах превысила в 1,5 раза предельную величину.

В конце 1967 года по заказу Дирекции Одесских электростанций кафедра оснований и фундаментов (Л.И.Колесников, С.Д.Синявский) под руководством профессора В.Н.Голубкова выполнила научно-исследовательскую работу по оценке грунтов основания и прогнозу деформаций главного корпуса ТЭЦ. Задача исследований — определение модуля деформации песков и подстилающих их илов для расчета конечной осадки фундаментов; расчеты скорости развития деформаций и определение сроков их стабилизации; оценка совместной работы основания и фундаментов здания. Для определения модуля деформации песков и илов, залегающих под подошвой фундаментов, была запроектирована (Колесников Л.И.) специальная установка — глубинный компрессометр ГК2-ОИСИ (свая-марка), использование которой позволило

измерить осадки штампа, передающего давление на основание, и винтовой марки, выдвинутой на 15...25 см ниже, что определяло глубину зоны деформации  $H_a$ . По величине нагрузки, соответствующей началу перемещения марки, подсчитано давление  $P$  под подошвой штампа площадью  $F_{ш}=81 \text{ см}^2$ .

Средняя величина модуля деформации определена по формуле Гука для объема зоны деформации  $V_a$ , форма которой принята по экспериментальным данным в виде усеченного шара:

$$E_{гр} = \beta \cdot P / \epsilon_{об} = \beta \cdot P \cdot V_a / V_s,$$

где  $\beta=0,5$  – коэффициент, учитывающий распределение давления по глубине  $H_a$  и приняты для треугольной эпюры.

$$V_a = \pi H_a^3 / 6 - V_{ш}; \quad V_s = S \cdot F_{ш} - \text{объемная осадка};$$

$\epsilon_{об}$  – средняя величина относительной объемной деформации.

Величина модуля деформации, подсчитанная по результатам проведенных испытаний для грунтов, залегающих на глубине 3,8 м; 5,8 м; 7,8 м и 9,8 м от пола машинного зала, приведена в таблице на рис. 1. Полученные данные использованы для расчета глубины и объема деформируемых зон основания, которые показаны на рис. 2 для фундаментов I очереди (ось б) и для фундаментов II-III очередей строительства (оси 22-23). Зона деформации каждого фундамента формируется как в песчаных грунтах ( $E_{гр}=4...7,1 \text{ МПа}$ ), так и в слое ила песчаного ( $E_{гр}=0,76...1,39 \text{ МПа}$ ), сжимаемость которого в 5...6 раз больше.

Принятый метод расчета осадок фундаментов колонн, турбогенераторов и котлов ТЭЦ соответствовал методу определения  $E_{гр}$  с использованием формулы Гука:

$$S = \beta \cdot P \cdot V_a / E_{гр} \cdot F \quad \text{или} \quad S = \beta \cdot P \cdot H_a / E_{гр},$$

где  $F$  – площадь фундамента;

$V_a$  и  $H_a$  – объем зоны деформации и ее глубина; определены с учетом действующих на фундаменты нагрузок, размеров фундаментов, модуля деформации, усредненного для объема или глубины деформируемой зоны основания. В связи со значительной плотностью размещения фундаментов главного корпуса ТЭЦ (40...60%) их взаимное влияние было

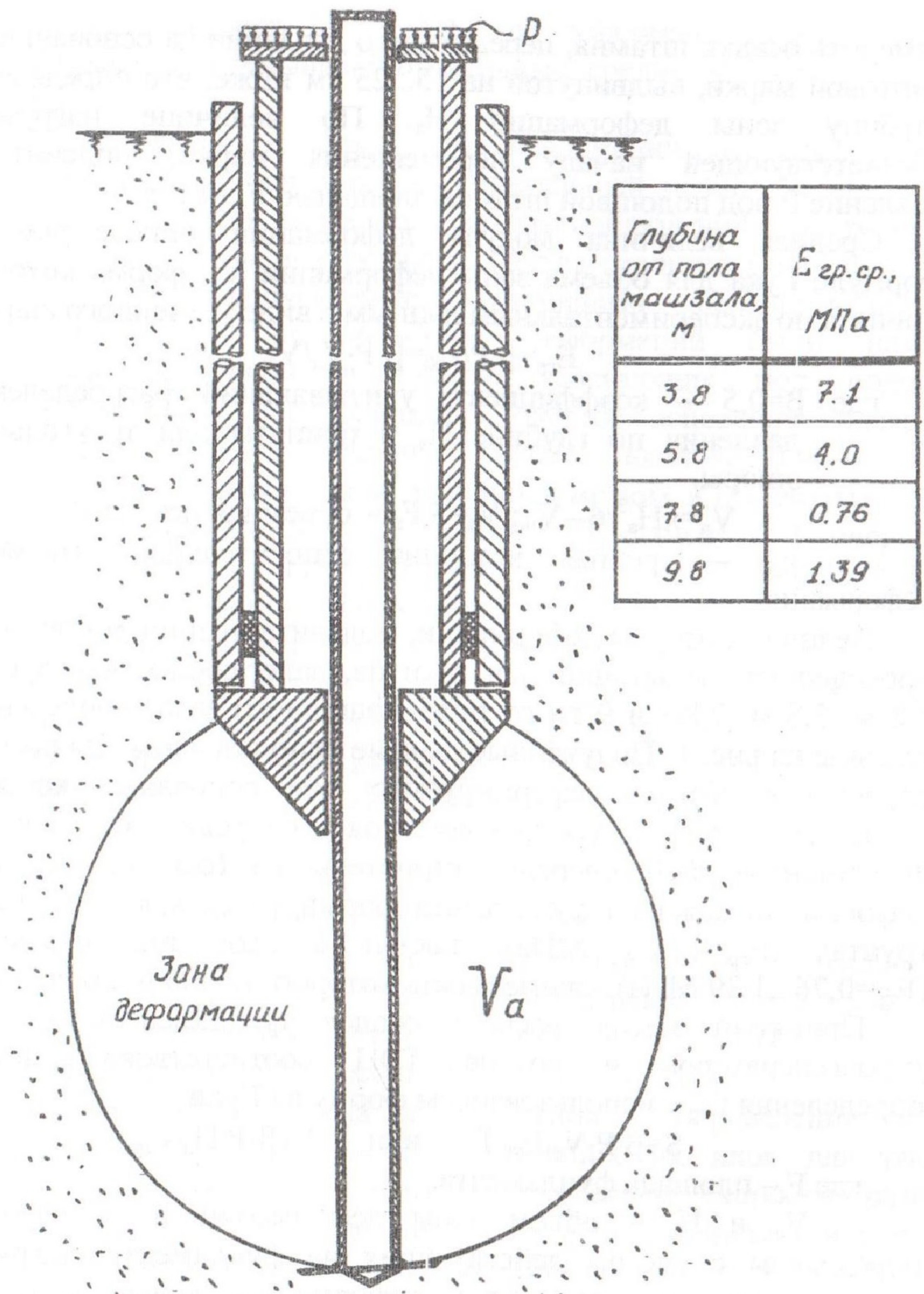


Рис. 1. - Конструкция и схема работы ГК 2-ДИСИ (сваи-марки)

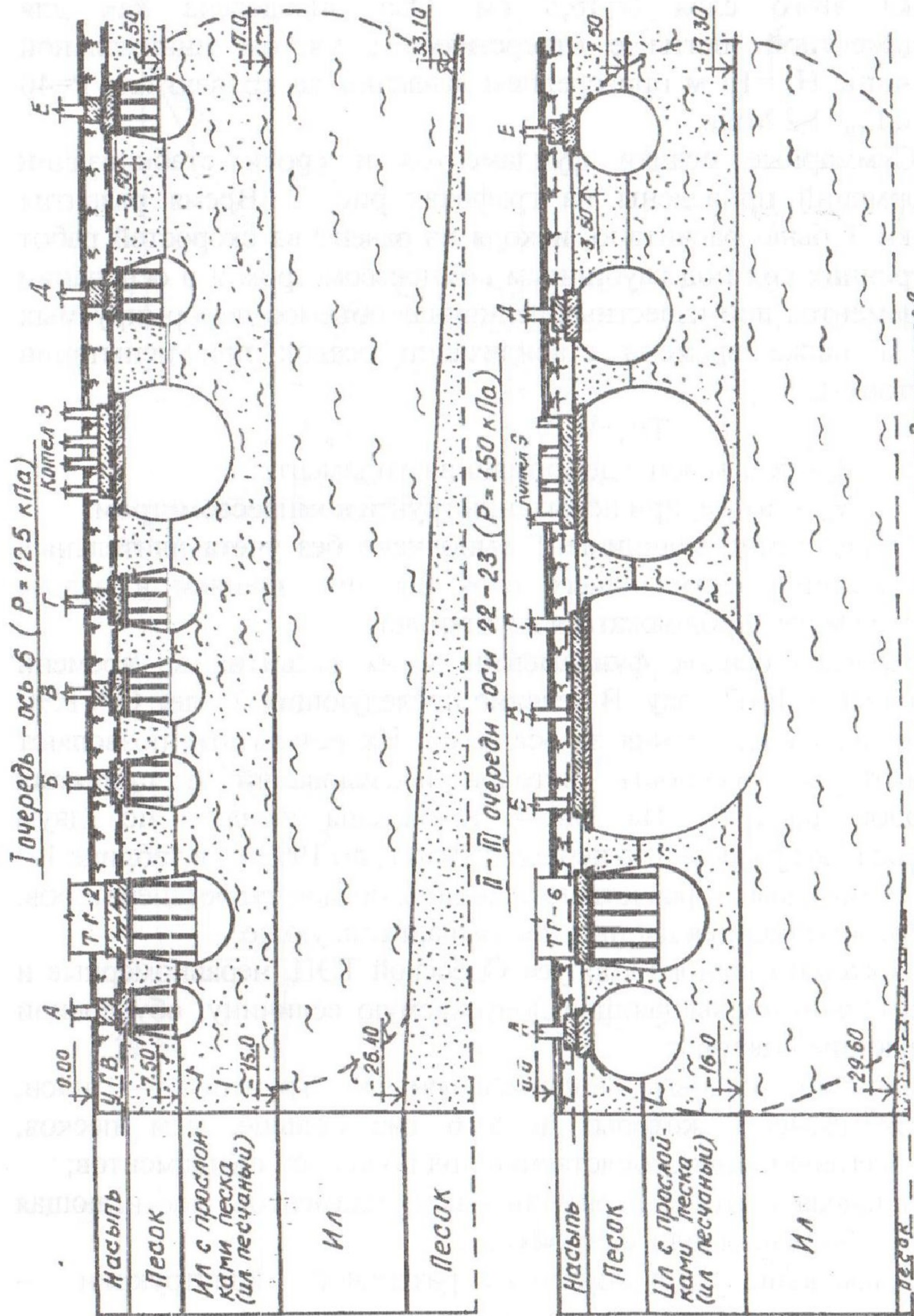


Рис. 2. Разрезы основания и фундаментов, деформируемые зоны

учтено расчетом осадки слабого подстилающего слоя ила, залегающего до глубины 26,4...33,1 м от поверхности. Расчетная осадка этого слоя  $S=16,5$  см. Она определена как для фундаментной плиты с отверстиями с учетом минимальной величины  $H_a=10$  м при среднем давлении на кровлю ила  $P=40$  кПа и  $E_{тр}=1,2$  Мпа.

Суммарные осадки фундаментов и сроки стабилизации деформаций приведены на графиках рис. 3. Время развития осадки  $T$  было рассчитано, исходя из равенства скоростей работ внутренних сил под глубинным компрессометром и в основании фундаментов при известных величинах объемов деформируемых зон, а также времени стабилизации осадок при испытании грунтов –  $t_0$ :

$$T/t_0=V_a/V_{a0}; \quad T=t_0 \cdot V_a/V_{a0},$$

где  $V_a$  – объем зоны деформации фундамента;

$V_{a0}$  – то же, при испытании грунта компрессометром.

Определение величины  $T$  выполнено без учета длительных деформаций подстилающего слоя ила под зданием в целом, которые могут продолжаться десятки лет.

Прогноз осадок фундаментов и их развития во времени выполнен в 1967 году. В течение последующих 25 лет ОРГРЭС продолжил наблюдения за осадками. Их результаты позволяют оценить достоверность методов исследований и принятых методов расчета. На рис.4 приведены осадки по двум поперечным разрезам за период с 1958 г. по 1992 г., в таблице 1 – прогнозируемые и расчетные величины осадок турбогенераторов. Анализ имеющихся данных показывает следующее.

1. Осадки главного корпуса Одесской ТЭЦ, неравномерные и значительно превышающие допускаемую величину, обусловили следующие факторы:

- наличие слабых водонасыщенных грунтов – илов, сжимаемость которых в 5...6 раз больше, чем песков, залегающих непосредственно под подошвой фундаментов;
- большая плотность размещения фундаментов, достигающая 40...60 % площади застройки;
- применение фундаментов различной конструкции – столбчатых, лент и плит под ряды колонн; свайных.



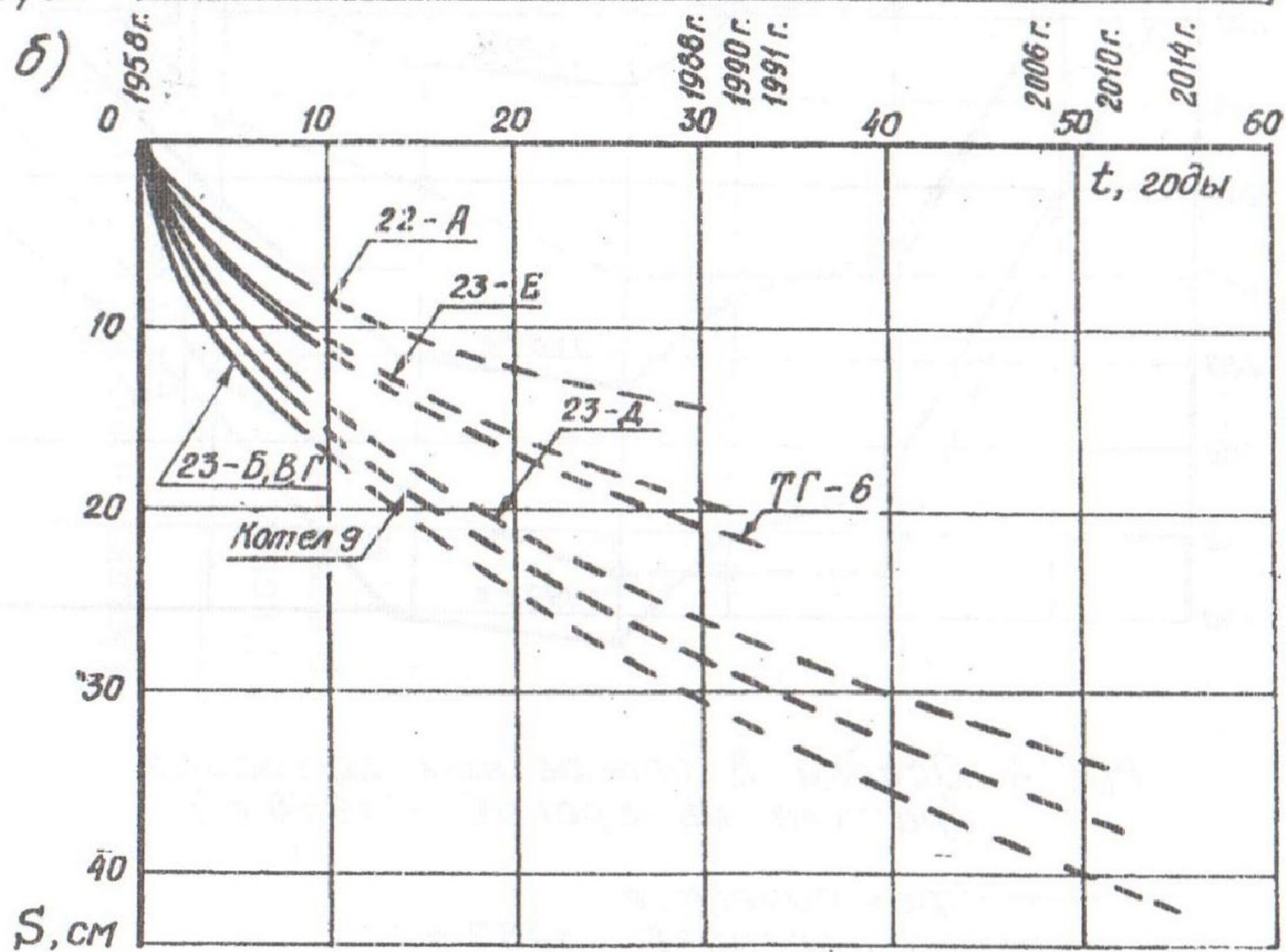
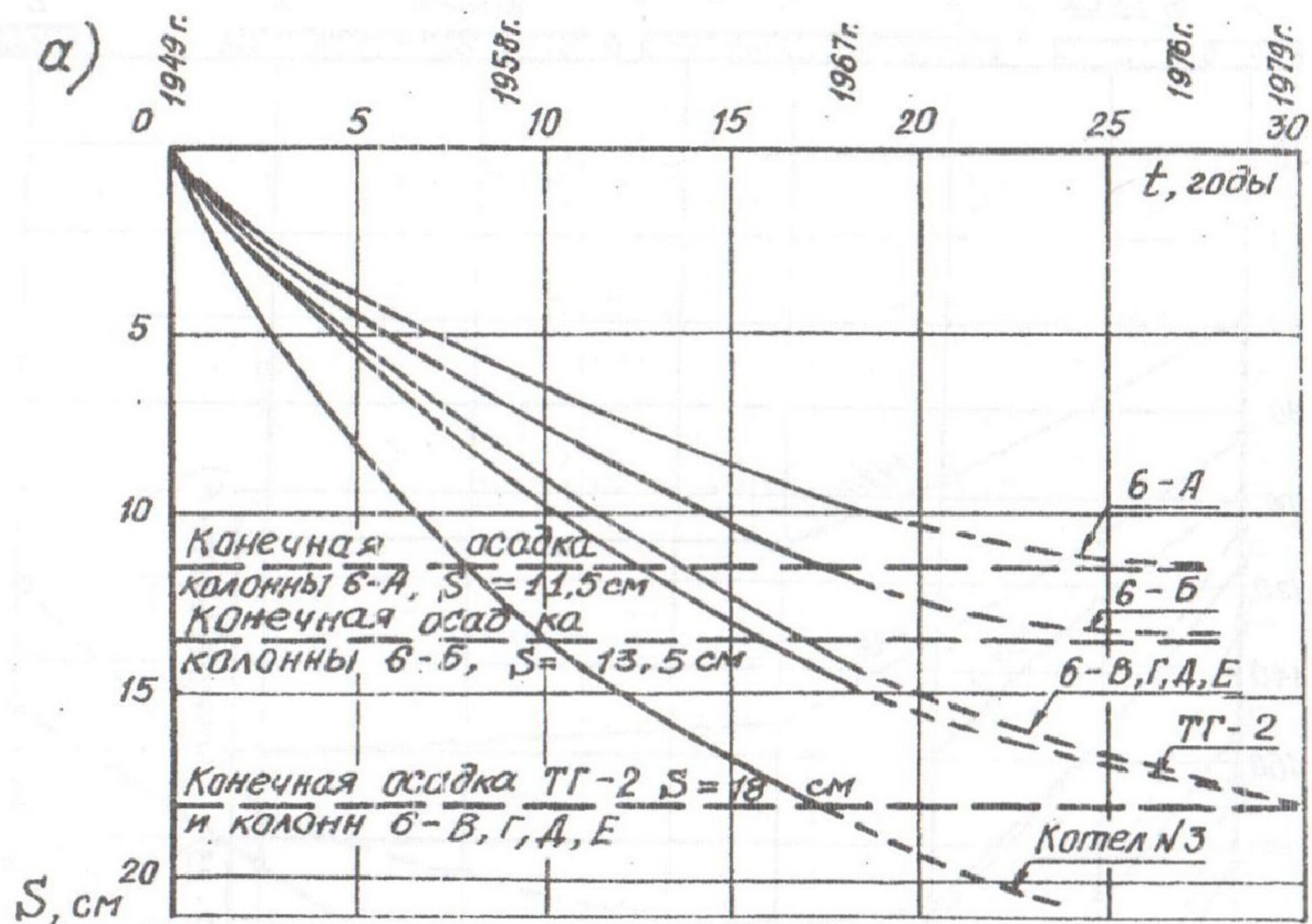


Рис. 3. Графики  $S=f(t)$ : а) - I очередь;  
 б) - II-III очереди (оси 22-23)

— результаты наблюдений за осадками  
 - - - результаты расчетов осадок

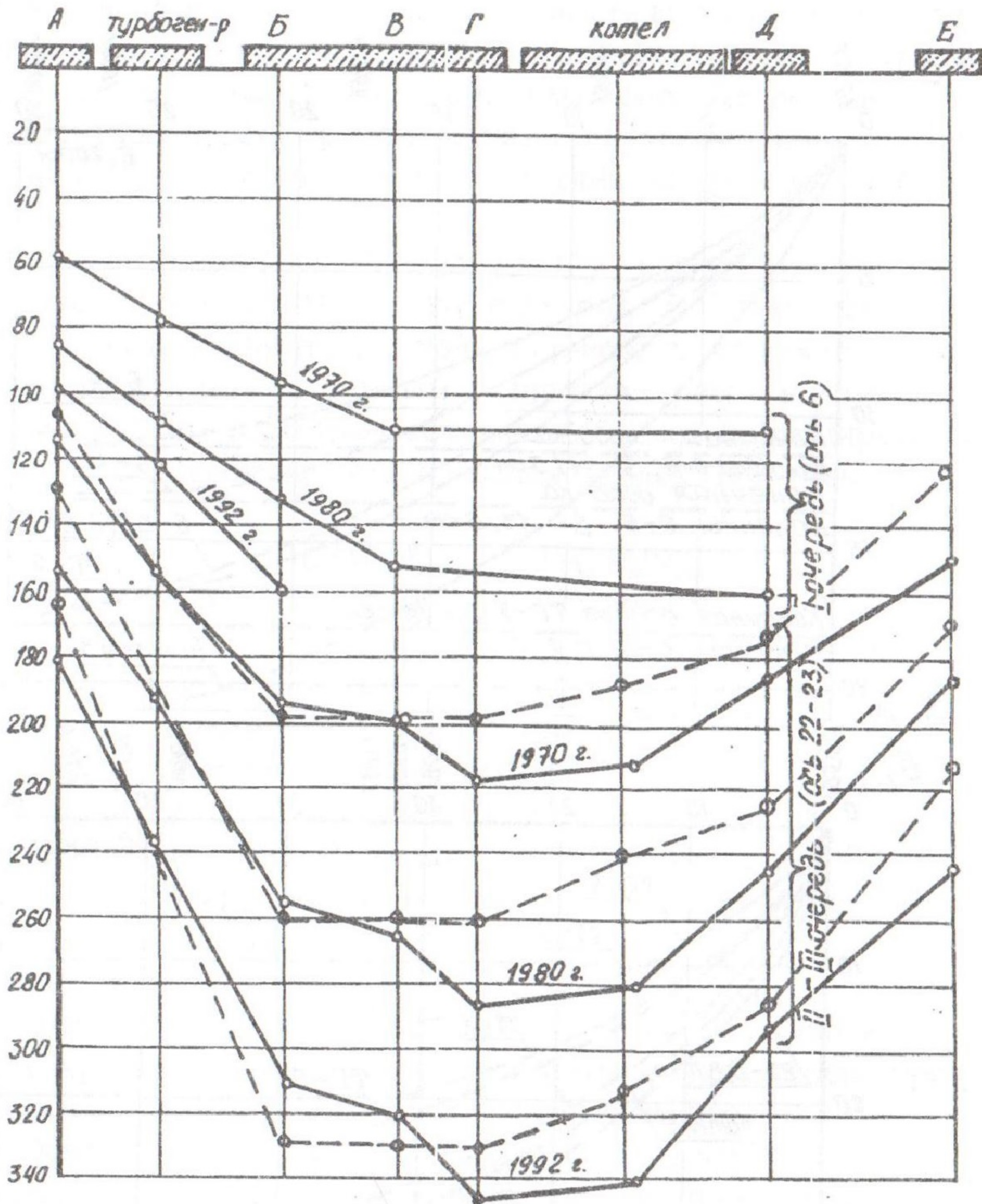


Рис. 4. Осадки в поперечных разрезах (начало измерений - 1958 г.)

Таблица 1

## Осадки свайных фундаментов турбогенераторов

№№ турбогенераторов	Кол-во свай	Площадь ростверка, $F, \text{ м}^2$	Давление, $P, \text{ кПа}$	Модуль деформации, $E_{гр}$ МПа	Размеры зоны деформации		Осадка по годам, $S, \text{ мм}^*$		
					$H_a, \text{ м}$	$V_a, \text{ м}^3$	1970	1980	1992
1	85	114	125	1,04	3	341	160	187	199
							150	180	180
2	55	114	125	1,04	3	341	180	210	220
							160	180	180
3	122	145	150	1,39	4,1	587	182	223	251
							170	205	220
4	122	145	150	1,39	4,1	587	202	246	278
							186	215	220
5	66	145	150	1,39	4,1	587	148	192	224
							138	180	220
6	66	145	150	1,39	4,1	587	139	177	207
							126	180	220

\* Над чертой приведены фактические осадки, под чертой – прогнозируемые.

2. Под фундаментами формируются локальные зоны деформации, расположенные в песках и песчаных илах, размеры которых зависят от величины давления, размеров фундаментов и сжимаемости грунтов в пределах этих зон.

3. В связи с загрузкой большой площади (233x77,5 м) и значительной плотностью размещения фундаментов проявляется плитный эффект, и в работу включаются илы, кровля которых расположена на глубине 11,5...13,5 м от подошвы фундаментов. Их мощность составляет 11,6...16,1 м. Нижняя граница зоны деформации, формируемая под зданием в целом, совпадает с кровлей малосжимаемых грунтов неогена – песков или глин. Расчет осадок показал, что около 50 % деформаций происходит за счет этого слоя.

4. Прогноз осадок выполнен в 1967 году. Измерения осадок в последующие 25 лет показали его достаточную точность: фактические и прогнозируемые осадки имеют близкие величины, разница которых составляет не более 17 %. Осадки свайных фундаментов имеют меньшую величину. Разное количество свай, принятое для фундаментов турбогенераторов, не сказалось на величине осадок (см. табл. 1).

5. Применение глубинного компрессометра ГК2-ОИСИ (свай-марки) позволило с достаточной точностью оценить сжимаемость грунтов основания, оценить величину и скорость деформаций.

6. Теоретические предпосылки, положенные в основу данной работы проф. В.Н.Голубковым, приняты на основе результатов экспериментальных исследований, выполненных при активном участии Вадима Николаевича его учениками и последователями.

В настоящее время авторы проводят обследование несущих конструкций здания, при этом выявляются дефекты, в т.ч. связанные с деформациями оснований. Результаты выполняемой работы позволят оценить состояние главного корпуса ТЭЦ и его пригодность к дальнейшей эксплуатации.