



МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



*Е.И.Ожунцов, С.П.Федоров*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ  
ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ

РИГА 1988

В. В. Билин  
С. Г. Васильев  
от 06.08.88  
8.12.88

Министерство нефтяной промышленности  
Научно-производственное объединение "Союзморинжгеология"  
Всесоюзный научно-исследовательский институт морской  
геологии и геофизики (ВНИИморгео)

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО МЕТОДИКЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ

Рига 1988

Рекомендации по методике интерпретации результатов статического зондирования на континентальном шельфе. - Рига: ВНИИморгео, 1988. - 74 с.

Рекомендации разработаны впервые на основе анализа отечественного и зарубежного опыта применения статического зондирования на море и на суше. Составлены в развитие ГОСТ 20069-81, СНиП I.02.04-87 и ВСН 51.2-84/Мингазпром.

Предназначены для инженерно-технических работников организаций и предприятий, выполняющих морские инженерные изыскания для проектирования и строительства морских нефтегазопромысловых сооружений.

Разработаны Всесоюзным научно-исследовательским институтом морской геологии и геофизики (ВНИИморгео) НПО "Совэморинжгеология" (Окунцов Е.И., Федоров С.П.) при участии Всесоюзного научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений (ВНИИОСП) Госстроя СССР (Мариупольский Л.Г.) и Одесского филиала Государственного проектного и научно-исследовательского института морского транспорта (Черноморниипроект) (Бич Г.М.) и Дзиллы И.Л. (ВНИИморгео).

В Рекомендациях учтены предложения и замечания Павлова В.А. (Фундаментпроект), Гвоздик В.И. (НПО "Стройизыскания"), Белава В.А. (ВНИИморгео), Мальковского Э.В. (Черноморниипроект).

Составители: Е.И.Окунцов, С.П.Федоров

С Всесоюзный научно-исследовательский институт морской геологии и геофизики (ВНИИморгео), 1988

|                                                                                                                                                                              | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Общие положения.....                                                                                                                                                      | 7    |
| 2. Оборудование.....                                                                                                                                                         | 8    |
| 3. Метрологические характеристики зондов.....                                                                                                                                | 9    |
| 4. Проведение испытаний.....                                                                                                                                                 | 11   |
| 5. Обработка результатов.....                                                                                                                                                | 12   |
| 6. Расчленение инженерно-геологического разреза.....                                                                                                                         | 20   |
| 7. Определение физико-механических характеристик грунтов.....                                                                                                                | 22   |
| 7.3. Определение плотности сложения песков.....                                                                                                                              | 23   |
| 7.4. Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов.....                                                                                                               | 26   |
| 7.5. Определение модуля деформации песчаных грунтов...                                                                                                                       | 28   |
| 7.6. Определение показателя текучести пылеватых и глинистых грунтов.....                                                                                                     | 31   |
| 7.7. Определение сопротивления недренированному сдвигу пылеватых и глинистых грунтов.....                                                                                    | 38   |
| 7.8. Определение прочностных характеристик пылеватых и глинистых грунтов в дренированном состоянии.....                                                                      | 38   |
| 7.9. Определение модуля деформации пылеватых и глинистых грунтов.....                                                                                                        | 41   |
| Приложение 1. Справочное. Определение основных терминов...                                                                                                                   | 42   |
| Приложение 2. Справочное. Основные сведения по скважинной установке статического зондирования.....                                                                           | 45   |
| Приложение 3. Справочное. Основные сведения по донной установке статического зондирования.....                                                                               | 48   |
| Приложение 4. Рекомендованное. Порядок тарировки зондов статического зондирования.....                                                                                       | 50   |
| Приложение 5. Справочное. Пример регистрации результатов статического зондирования.....                                                                                      | 54   |
| Приложение 6. Рекомендованное. Пример оформления результатов статического зондирования.....                                                                                  | 55   |
| Приложение 7. Рекомендованное. Расчленение инженерно-геологического разреза по результатам статического зондирования. Вариант с измерением суммарного порового давления..... | 56   |

|                                                                                                                                                                                                | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Приложение 8. Рекомендуемое. Определение коэффициента переуплотнения $K_{PU}$ .....                                                                                                            | 61   |
| Приложение 9. Рекомендуемое. Определение коэффициента пропорциональности $N_k$ .....                                                                                                           | 65   |
| Приложение 10. Рекомендуемое. Определение прочностных характеристик для пылеватых и глинистых грунтов по результатам статического зондирования с измерением суммарного порового давления ..... | 69   |
| Литература .....                                                                                                                                                                               | 74   |

Настоящие "Рекомендации по методике интерпретации результатов статического зондирования на континентальном шельфе" разработаны в рамках темы "Разработка методических основ и принципиальных технологических решений для проведения инженерно-геологических работ в различных природных условиях континентального шельфа".

В рекомендациях излагаются современные методы интерпретации результатов статического зондирования, учитывающие те особенности, которые (в отличие от суши) являются практически обязательными в исследованиях грунтов методом статического зондирования на шельфе. Такими особенностями являются:

водонасыщенность практически всех донных грунтов;  
значительно больший по сравнению с сушей диапазон глубины зондирования грунтов (до сотен метров);  
избыточное поровое давление, возникающее как эффект, сопровождающий зондирование водонасыщенных грунтов.

Рекомендации распространяются на определение физико-механических характеристик кварцевых и полевошпатовых песков, пылеватых и глинистых грунтов континентального шельфа в условиях естественного залегания методом статического зондирования с использованием устройств статического зондирования, соответствующих ГОСТ 20069-81 или Европейскому стандарту ISS MFE-77 [1, 2].

При использовании зондов с геометрическими размерами, не отвечающими указанным стандартам, но входящих в комплекты оборудования на судах типа "Бавенит" и "Бакерит", следует учитывать поправочные коэффициенты, приводимые в настоящих рекомендациях.

Оборудование непрерывного зондирования, входящее в инженерно-геологический комплекс "Триас", нуждается в специальной методике интерпретации, которая может быть разработана на базе настоящих рекомендаций.

Рекомендации не распространяются на:  
грунты в мерзлом состоянии;

пылеватые и глинистые грунты с содержанием органического вещества более 10 % по массе.

Использование статического зондирования в крупнообломочных грунтах имеет ограниченный характер по условиям обеспечения сохранности зонда.

Определение основных терминов, применяемых в настоящих рекомендациях, приведено в справочном приложении I.

Настоящие рекомендации разработаны на основе анализа опыта применения статического зондирования на море и на суше, а также в развитие СНиП I.02.04-87 и ГОСТ 20069-81 [3, 4].

1.1. Объем работ по статическому зондированию (количество точек зондирования, их расположение в плане и глубина зондирования) устанавливается проектом (программой) на морские инженерно-геологические изыскания.

1.2. При проведении полевых испытаний грунтов методом статического зондирования необходимо также руководствоваться инструкциями по эксплуатации устройства, требованиями ВСН 51.2-84/Мингазпром и другими действующими стандартами и нормами на морские инженерные изыскания [5].

1.3. В рекомендациях предлагается порядок проведения полевых испытаний грунтов методом статического зондирования (СЗ), позволяющий в сочетании с лабораторными и другими методами инженерно-геологических исследований физико-механических свойств обеспечить решение следующих задач:

расчленение геологического разреза, выделение инженерно-геологических элементов и определение границ распространения грунтов различного вида и разновидности;

определение сопротивления грунта под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности;

определение плотности сложения песков;

сценка физико-механических характеристик грунта (угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль деформации, сопротивление недренированному сдвигу, показатель текучести и др.).

1.4. Непосредственно по результатам полевых исследований грунтов методом СЗ определяются:

удельное сопротивление грунта под конусом ( $q_c$ ), МПа;

удельное сопротивление грунта на муфте трения ( $f_c$ ), кПа.

В случае использования датчиков измерения порового давления определяется суммарное поровое давление ( $u$ ), МПа.

## 2. Оборудование

2.1. Для исследования морских грунтов методом СЗ могут применяться скважинные и донные установки.

В общем случае установки СЗ содержат следующие компоненты:  
зонд (со штангами и каналом связи);  
механизм вдавливания (извлечения) зонда;  
опорное устройство;  
измерительно-регистрирующая аппаратура.

2.2. Скважинные установки СЗ осуществляют зондирование на забое скважины. В случае бурового оборудования непрерывного вращательного бурения СЗ осуществляется через бурильную колонну. Опорой для вдавливания зонда в грунт в этом случае служит бурильная колонна и специальная донное устройство, присоединяемое к бурильной колонне. Работа со скважинной установкой включает: бурение скважины до глубины, с которой необходимо начать зондирование; спуск скважинного снаряда на кабеле и закрепление его в колонне; вдавливание зонда в грунт; подъем снаряда наверх и возвращение зонда в исходное состояние.

Скважинные установки, как правило, предусматриваются для работы на глубине до 200 м при глубине скважины до 200 м и обеспечивают следующие основные технические данные:

ход поршня должен быть не менее 2 м;  
скорость вдавливания ( $1 \pm 0,3$ ) м/мин;  
усилие вдавливания до 5 т.

Краткое описание скважинной установки СЗ приведено в справочном приложении 2 в качестве примера установок подобного типа.

2.3. Донные установки СЗ осуществляют зондирование грунта непосредственно в массиве, начиная с поверхности дна моря. Опорой для внедрения зонда в грунт служит вес собственно установки (в подводном положении), который может достигать 20 и более тонн. Работа с донной установкой СЗ включает:

опускание на дно установки с судна через шахту с одновременной сборкой колонны штанг (с каналом связи);  
вдавливание зонда с колонной штанг в грунт;  
извлечение колонны штанг из грунта;  
подъем установки на борт и разборка колонны штанг.

Донные установки предусмотрены для работы на глубине моря до 200 м и более и обеспечивают следующие основные технические данные:

глубина зондирования 30-50 м в зависимости от грунта;

усилие вдавливания до 20 т (при весе установки в надводном положении 25 т);

скорость вдавливания ( $1 \pm 0,3$ ) м/мин.

Краткое описание донной установки СЗ приведено в приложении 3 в качестве примера установок подобного типа.

2.4. Установки СЗ могут быть укомплектованы разными типами зондов, соответствующих требованиям ГОСТ 20069-81 для зонда типа П, Европейского стандарта ISSMFE-77 и др. Кроме того, в комплектах оборудования могут быть зонды с датчиками измерения порового давления.

2.4.1. Основные параметры наиболее употребительных зондов приведены в табл. I.

2.5. Измерительно-регистрирующая аппаратура должна обеспечивать восприятие информации с зонда, нормализацию уровня сигнала, фильтрацию помех и регистрацию сигнала на ленте регистратора, на цифropечати или на магнитном носителе (в подготовленном для машинной обработки виде). При технической возможности следует осуществлять все упомянутые выше виды регистрации.

### 3. Метрологические характеристики

3.1. Основная погрешность измерительного устройства в целом должна удовлетворять условию:

$$\delta \leq 5 + P_{max}/P_x, \quad (1)$$

где  $\delta$  - погрешность измерительного устройства, %;

$P_x$  - значение измеряемой величины;

$P_{max}$  - номинальное значение измеряемой величины.

Класс точности регистрирующих приборов должен быть не ниже 1,5.

3.2. Дополнительная погрешность по температуре наружного воздуха в диапазоне от минус 10 до плюс 40 °C не превышает 0,5 % от наибольшего значения диапазона [6].

3.3. Основная погрешность датчика глубины зондирования установок СЗ не превышает 0,25 % на каждый метр [7].

3.4. Допустимые изменения площади муфты трения должны быть не более 2 %.

3.5. Допустимые изменения площади поверхности конуса не

Характеристики типов зондов

Таблица 1

| Установка, тип<br>зонда              | Конусный наконечник |                         | Мудра трения |                         | Фильтр датчика порового давления, расположение на конусе |            | Диапазон измерения     |                          |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|------------|------------------------|--------------------------|
|                                      | $d$ , мм            | $S_k$ , см <sup>2</sup> | $l_m$ , мм   | $S_a$ , см <sup>2</sup> | на конусе                                                | за конусом | $q_3$ , МПа            | $f_3$ , кПа              |
| ГОСТ 20069-81, тип П                 | 35,7                | 10                      | 310          | 348                     | -                                                        | -          | 0,5-10<br>1-30<br>1-60 | 2-100<br>5-200<br>10-500 |
| Установка Wison<br>тип F5 CE/V       | 35,7                | 10                      | 133,7        | 150                     | -                                                        | -          | 0-50                   | 0-500                    |
| Установка Wison<br>тип F5 CW/V       | 35,7                | 10                      | 133,7        | 150                     | +                                                        | -          | 0-10                   | 0-2500                   |
| Установка Seacal f<br>тип F 7,5 CE/V | 44                  | 15                      | 133,7        | 200                     | -                                                        | -          | 0-50                   | 0-500                    |
| Установка Seacal f<br>тип F 7,5 CW/V | 44                  | 15                      | -            | -                       | +                                                        | -          | 0-10                   | 0-2500                   |
| Установка v.d. Berg                  | 35,7                | 10                      | 133,7        | 150                     | -                                                        | +          | 0-50                   | 0-500 0-2500             |

$d$  - диаметр зонда, мм;  
 $S_k$  - площадь сечения основания конусного наконечника, см<sup>2</sup>;  
 $l_m$  - длина муфты трения, мм; 2;  
 $S_a$  - площадь муфты трения, см<sup>2</sup>;  
 - нет датчика

более 7 %, допустимое изменение высоты конуса должно быть не более 5 мм.

3.6. Отклонение оси зонда от прямой линии (параллельной оси зонда) любой плоскости не должно превышать 5 мм на 3 м по всей длине зонда.

3.7. Проверку оборудования СЗ подлежит выполнять не реже 1 раза в 3 месяца, а также после выявления и устранения неисправностей оборудования или замены его деталей.

Результаты проверок надлежит оформлять актом.

3.8. Подготовку к испытаниям оборудования судна и установки СЗ надлежит выполнять согласно инструкции по ее эксплуатации.

3.8.1. Тарировка зонда (каналов измерения) проводится в соответствии с прил.4.

3.9. Степень износа зонда необходимо проверять периодически, но не реже чем через 15 точек зондирования.

Примечание. В полевых условиях при обнаружении неисправностей, требующих ремонта зонда, зонд должен быть заменен на запасной.

#### 4. Проведение испытаний

4.1. Порядок операции в процессе проведения полевых исследований должен соответствовать предусмотренному инструкцией по эксплуатации установки СЗ.

4.2 Показатели СЗ грунта в процессе вдавливания зонда необходимо регистрировать непрерывно либо с интервалом по глубине не более 0,2 м.

4.3. Скорость погружения зонда в грунт должна быть в пределах 1±0,3 м/мин.

4.4. Испытания следует заканчивать при достижении заданной программой глубины или предельных усилий на элементы зонда.

Если на заданной глубине зондирования залегают грунты с  $q_3$  менее 1 МПа и  $f_3$  менее 0,02 МПа, зондирование по возможности следует продолжить до глубины залегания грунта с более высокими значениями  $q_3$  и  $f_3$ .

В инженерно-геологических изысканиях СЗ выполняется в сочетании с бурением и пробобором. Соотношение технических скважин (бурения) и специальных (СЗ) принимается в зависимости

от объема и подробности априорной инженерно-геологической информации и конкретных инженерно-геологических условий.

4.5. Точки СЗ следует размещать не ближе 1 м от технических инженерно-геологических скважин [8].

4.6. В процессе выполнения зондирования скважинной установкой СЗ следует учитывать, что грунт впереди буровой коронки на 0,3–1 м (0,3 м – соответствует рыхлым грунтам, 1 м – плотным) нарушен и не соответствует условиям естественного залегания [9].

4.7. При плотности грунта, соответствующей сопротивлению вдавливания, превышающего максимальное усилие скважинной установки, зондирование прекращается и данный участок проходится бурением без СЗ.

4.8. Регистрацию результатов измерений СЗ следует производить в "Журнале статического зондирования" (прил.5) или на диаграммной ленте.

Регистрация результатов испытаний грунтов СЗ на установках *Wilson* и *Seacal* осуществляется специальной системой регистрации и обработки данных, входящей в состав измерительно-регистрирующей аппаратуры. С клавиатуры терминала компьютера вводится следующая информация:

- наименование организации, проводящей работы;
- наименование (структура) района изысканий;
- тип устанавливаемого сооружения;
- дата выполнения работ (начало и окончание);
- установка статического зондирования (тип зонда);
- дата текущей поверки установки;
- номер точки;
- начальная глубина зондирования;
- конечная глубина зондирования;
- данные о взаимном расположении буровых скважин и точек зондирования;

– фамилия начальника партии и ст. геолога.

## 5. Обработка результатов

5.1. Результаты СЗ оформляются в виде графиков изменения показателей статического зондирования по глубине, составляемых по диаграммным лентам, полученным при автоматической записи

результатов зондирования (прил.5) и совмещенных с инженерно-геологической колонкой бурения скважины.

Обработка результатов включает следующие этапы:

- первичная обработка;
- приведение к базовым параметрам зонда;
- совмещение диаграммы с колонкой бурения.

5.2. На этапе первичной обработки обозначаются масштабы, выполняется сглаживание и совмещение диаграммных кривых  $q_p$  и  $f_s$ .

5.2.1. Максимальный масштаб графиков статического зондирования рекомендуется принимать:

- по вертикали – 1 см на графике равен 1 м зондирования;
- по горизонтали – 1 см на графике равен:
  - 2 МПа удельного сопротивления грунта под наконечником зонда, если это сопротивление равно или более 1 МПа;
  - 0,2 МПа для того же показателя, если это сопротивление менее 1 МПа;
  - 20 кПа удельного сопротивления грунта на участке боковой поверхности зонда (на муфте трения).

5.2.2. При использовании устройств СЗ, изготовленных за рубежом, допускается максимальный масштаб графика удельного сопротивления на муфте трения 1 см – 50 кПа 10, II.

5.2.3. В общем случае допускается изменение масштабов графиков СЗ по горизонтали в сторону укрупнения (пример выполнения графиков приведен в прил.6).

5.2.4. Сглаживание диаграммных кривых выполняется с целью выделения общих закономерностей изменения показателя, освобождения от частных подробностей, возникающих как результат особенностей регистрирующей аппаратуры или процессов, не несущих доступную полезную информацию (например, составляющие, которые отражают вибрацию регистрирующего элемента или высокочастотные явления в процессе зондирования).

В случае автоматической обработки данных для выполнения операции сглаживания могут использоваться различные методы усреднения. Наибольшее распространение в практике машинной обработки нашли метод скользящего усреднения и медианный метод [12].

5.2.5. При построении совмещенных графиков изменения  $q_p$  и  $f_s$  эти графики должны быть смещены по глубине друг относительно

но друга (значения  $f_3$  смещаются вниз относительно значений  $q_3$  на 7,5 см для зондов по Европейскому стандарту IS9MFE-77 и на 15,5 см для зондов типа II ГОСТ 20069-81 в реальном масштабе, что на графике означает 0,75 мм и 1,55 мм, соответственно) [7].

5.3. Результаты СЗ (графики  $q_3$  и  $f_3$ ) могут быть использованы для литологического расчленения и определения физико-механических характеристик грунта только после приведения значений  $q_3$  и  $f_3$  к базовым размерам зонда [8].

В качестве базовых размеров приняты размеры зонда тип II ГОСТ 20069-81.

5.3.1. Приведение показателей СЗ к базовым размерам представляет собой корректировку показателей  $q_3$  и  $f_3$  путем умножения их на коэффициенты приведения согласно выражениям:

$$q = q_3 \cdot K_{q1} \quad q_n = q_3 \cdot K_{q1} + u \cdot K_{q2} \cdot (1 - \alpha) \quad (2)$$

$$f = f_3 \cdot K_{f1} \cdot K_{f2} \quad (3)$$

где  $q$  и  $f$  — приведенные значения  $q_3$  и  $f_3$ ;

$q_n$  — скорректированное по поровому давлению значение (применяется при наличии датчика суммарного порового давления  $u$ );

$K_{q1}$  — коэффициент приведения  $q_3$  по диаметру зонда (применяется при диаметре зонда, отличном от 35,6 мм), значения коэффициента определяются по графику (рис. 1а, б);

$K_{f1}$  — коэффициент приведения  $f_3$  по диаметру зонда (применяется при диаметре зонда, отличном от 35,6 мм), значения коэффициента определяются по графику (рис. 2а, б);

$K_{q2}$  — коэффициент приведения значения  $q_3$  по избыточному поровому давлению (приложение I — "зонд порового давления");

$\alpha$  — коэффициент площади давления (прил. 7).

Таблица 2

| Тип зонда                                     | Коэффициент $K_{q2}$ | $\alpha$ |
|-----------------------------------------------|----------------------|----------|
| Зонд фирмы Fugro с датчиком порового давления | 0,8                  | 0,74     |

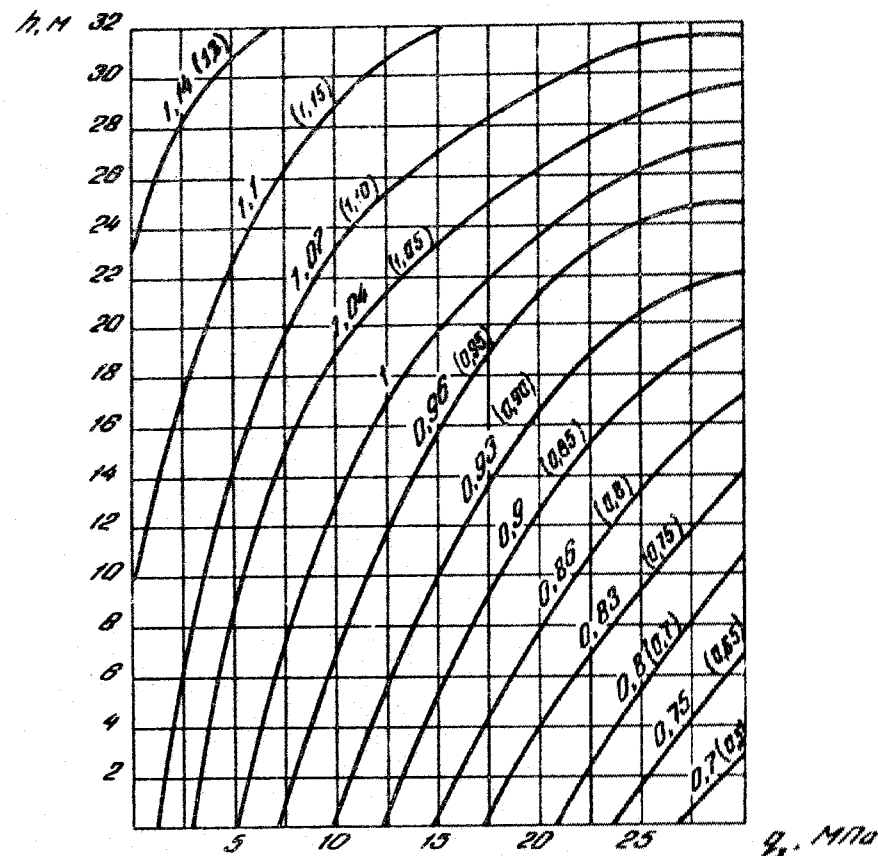


Рис. 1а. Поправочный коэффициент  $K_{q1}$  для песчаных грунтов для зонда Zeasaf, диаметром 45 мм (значения в скобках применяются для зонда диаметром 62 мм). Значения коэффициента  $K_{q1}$  за пределами номограммы оцениваются экстраполяцией.

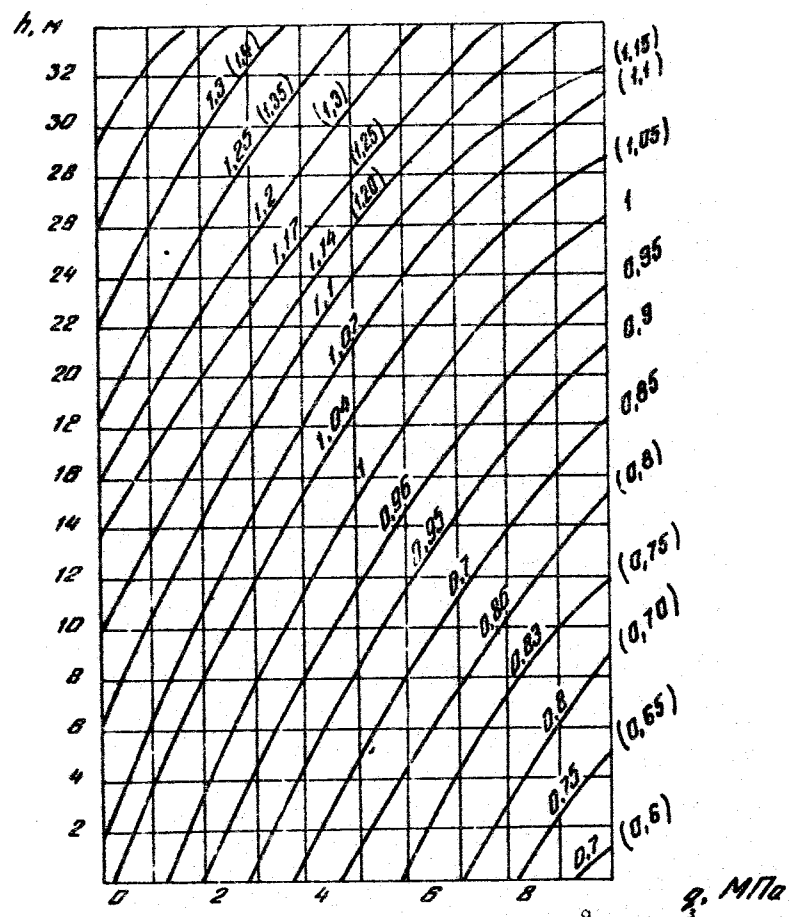


Рис. 16. Поправочный коэффициент  $K_q$  для пылеватых и глинистых грунтов для зонда  $\text{Seacal}$ , диаметром 45 мм (значения в скобках применяются для зонда диаметром 62 мм). Значения коэффициента  $K_q$  за пределами номограммы оцениваются экстраполяцией.

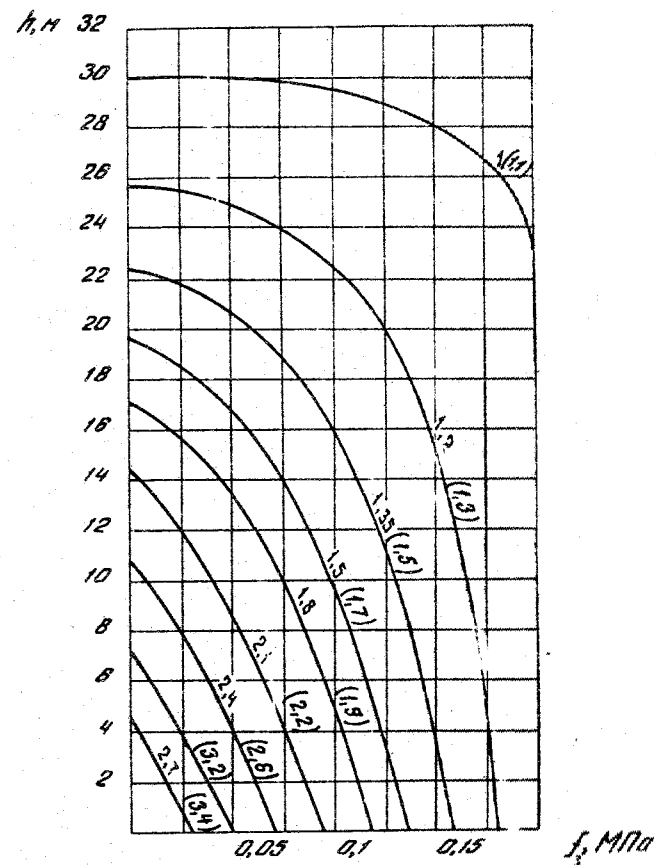


Рис. 2а. Поправочный коэффициент  $K_{11}$  для песчаных грунтов для зонда  $\text{Seacal}$ , диаметром 45 мм (значения в скобках применяются для зонда диаметром 62 мм). Значения коэффициента  $K_{11}$  за пределами номограммы оцениваются экстраполяцией.

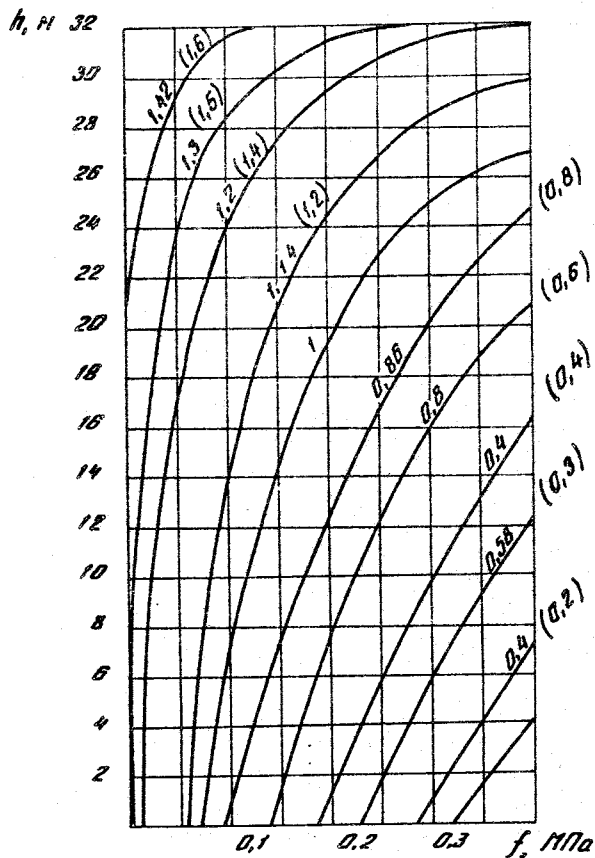


Рис. 26. Поправочный коэффициент  $K_{11}$  для пылеватых и глинистых грунтов для зонда Seacal; диаметром 45 мм (значения в скобках применяются для зонда диаметром 62 мм). Значения коэффициента  $K_{11}$  за пределами номограммы оцениваются экстраполяцией.

| Тип зонда                                         | Коэффициент $K_{q2}$ | $\alpha$ |
|---------------------------------------------------|----------------------|----------|
| Зонд фирмы v.d. Berg с датчиком порового давления | 1,0                  | 0,78     |

$K_{12}$  - коэффициент приведения значения  $f_3$  по избыточному поровому давлению.

Введение коэффициента  $K_{12}$  связано с выбором метода интерпретации данных СЗ и типом применяемого зонда.  $K_{12} = 1$ , если применяются зонды по Европейскому стандарту ISSMFE-77 и методы интерпретации, разработанные с их применением.  $K_{12} = 1$ , если применяются зонды по ГОСТ 20069-81 тип II и отечественные методы интерпретации. В других случаях  $K_{12}$  определяется по табл.3.

Таблица 3

| Метод интерпретации                      | Тип зонда     | Грунт                      | Коэффициент $K_{12}$ |
|------------------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------|
| СССР                                     | ISSMFE-77     | песок                      | 1                    |
| "                                        | "             | супеси текучие             | 1,15                 |
| "                                        | "             | суглинки текуче-пластичные | 1,20                 |
| "                                        | "             | глины текуче-пластичные    | 1,25                 |
| НГИ (Норвежский геотехнический институт) | ГОСТ 20069-81 | песок                      | 1                    |
| "                                        | "             | супеси текучие             | 0,87                 |
| "                                        | "             | суглинки текуче-пластичные | 0,83                 |
| "                                        | "             | глины текуче-пластичные    | 0,8                  |

\*) Примечание. Значения коэффициентов  $K_{12}$  носят приближенный характер и требуют экспериментальной проверки.

5.4. Графики изменения показателей статического зондирования по глубине должны быть совмещены с инженерно-геологической колонкой бурения скважины.

Совмещение можно считать достоверным в случае, когда скважина расположена не далее 5 м и не ближе 1 м от точки зондирования [8].

Перед началом интерпретации данных СЗ необходимо иметь предварительную геологическую информацию: геологическое строение верхней части разреза, литологический и вещественный состав слагающих слоев и их стратиграфо-генетические характеристики.

#### 6. Расчленение инженерно-геологического разреза и оценка типа грунта

6.1. Расчленение инженерно-геологического разреза (выделение инженерно-геологических слоев и прослоев) выполняется на основе графиков изменения по глубине показателей статического зондирования:

приведенные значения удельного сопротивления грунта под конусом зонда,  $q$ ;

удельного сопротивления на муфте трения,  $f$ ;

суммарного порового давления,  $u$ .

6.2. Наиболее эффективное выделение границ инженерно-геологических слоев выполняется по графикам изменения суммарного порового давления  $u$  (см. справочное приложение 7).

6.3. Выделение границ инженерно-геологических слоев по графикам изменения удельного сопротивления грунта под конусом зонда и удельного сопротивления на муфте трения производится в следующей последовательности:

графики  $q$  и  $f$  разбиваются на участки, соответствующие различным средним уровням показателей  $q$  и  $f$ ;

уточняются точки перегиба графиков;

оцениваются колебания величин  $q$  и  $f$  на участках с выделением маломощных слоев и прослоев;

производится анализ полученного инженерно-геологического разреза и сравнение его с колонкой бурения.

6.3.1. В первом приближении за границу слоя можно принимать начало плавного перегиба кривых  $q$  и  $f$  (рис. 3 [3]).

6.3.2. Выделение внутри слоев (участков графика) более тонких слоев и прослоев не производится, если коэффициент вариации закономерно изменяющегося показателя не превышает величины 0,3

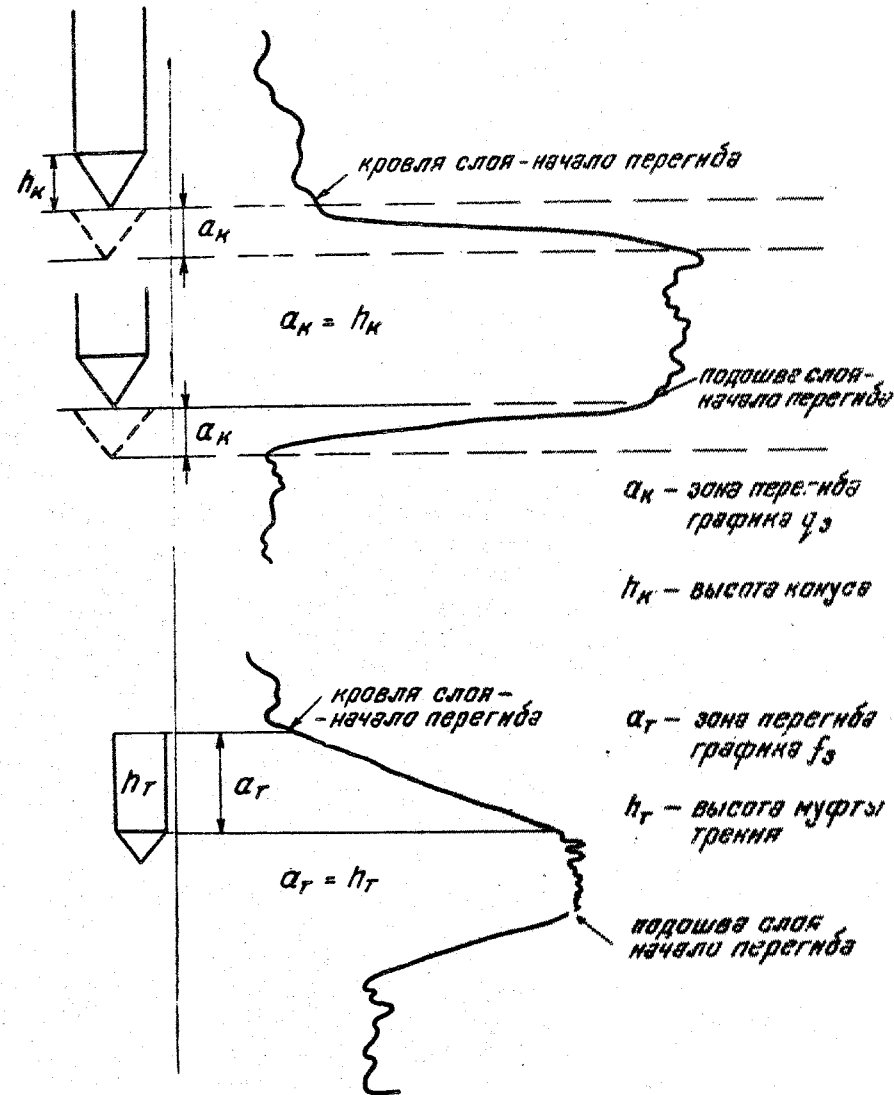


Рис. 3. Определение границы по диаграммам СЗ

для  $q$  и  $f$  (ГОСТ 20522-75 [13, 14]).

6.4. Для предварительной оценки типа грунта может быть использована табл. 4, составленная по данным опыта работ на шельфе Северного моря [15].

Таблица 4

| Тип грунта                                  | Отношение $f/q$ , % |
|---------------------------------------------|---------------------|
| Песок гравелистый и крупный                 | 0,5                 |
| Песок средней крупности, мелкий и пылеватый | 0,5-1,0             |
| Ил супесчаный, ил суглинистый               | 1,0-2,0             |
| Супеси                                      | 2,0-3,0             |
| Суглинки, глины                             | 3,0-8,0             |

## 7. Определение физико-механических характеристик грунтов

7.1. Настоящие рекомендации предусматривают возможность определения следующих физических и механических характеристик: для песчаных грунтов - плотность сложения, угол внутреннего трения, модуль деформации;

для пылеватых и глинистых грунтов - показатель текучести, угол внутреннего трения и удельное сцепление, сопротивление недренированному сдвигу, модуль деформации.

7.2. До накопления достаточного опыта применения статического зондирования на континентальном шельфе СССР рекомендации предусматривают возможность использования как отечественной, так и зарубежных методик определения физико-механических характеристик грунтов. При этом для грунтов при глубинах зондирования, соответствующих условиям разработки отечественных методик, применяются отечественные документы (методики). В остальных случаях предусматривается применение методов Норвежского геотехнического института.

Во всех случаях нормативные характеристики следует принимать на основе анализа, учитывающего все данные о свойствах грунта, полученных другими методами (лабораторными и полевыми).

### Определение плотности сложения песчаных грунтов

7.3. Плотность сложения песчаных грунтов (определение коэффициента пористости  $e$ ) может определяться:

по таблицам СНиП I.02.07-87;

по рекомендациям Норвежского геотехнического института.

7.3.1. Плотность сложения песчаных грунтов по СНиП I.02.07-87 в зависимости от величины приведенного удельного сопротивления грунта под конусом зонда ( $q$ ) приведена в табл. 5.

Таблица 5

| Пески                       | $q$ , МПа  | Плотность сложения | Коэффициент пористости $e$ |
|-----------------------------|------------|--------------------|----------------------------|
| Крупные и средней крупности | более 15   | плотные            | $0,55 > e$                 |
|                             | от 15 до 5 | средней плотности  | $0,55 < e < 0,7$           |
|                             | менее 5    | рыхлые             | $0,7 < e$                  |
| Мелкие                      | более 12   | плотные            | $0,6 > e$                  |
|                             | от 12 до 4 | средней плотности  | $0,6 < e < 0,75$           |
|                             | менее 4    | рыхлые             | $0,75 < e$                 |
| Пылеватые                   | более 7    | плотные            | $0,6 > e$                  |
|                             | от 7 до 2  | средней плотности  | $0,6 < e < 0,8$            |
|                             | менее 2    | рыхлые             | $0,8 < e$                  |

Данными табл. 5 при глубинах исследования более 10 м по грунту и с возрастанием плотности сложения следует пользоваться с осторожностью из-за возрастания погрешности определения  $e$ .

7.3.2. Плотность сложения песчаных грунтов по рекомендациям Норвежского геотехнического института определяется с учетом степени относительной уплотненности грунта, характеризующейся коэффициентом переуплотнения ( $K_{IV}$ ). Порядок определения  $K_{IV}$  дан в прил. 8 [16, 17].

Определение плотности сложения выполняется следующим образом:

1) Корректируется (при необходимости) значение  $q$  в зависимости от  $K_{IV}$  и гранулометрического состава песчаных грунтов. При значениях  $K_{IV} > 2$  для всех видов песков

$$q' = q + 0,75q[(KПУ)^{0,42} - 1], \quad (4)$$

где  $q'$  - скорректированное для данного случая значение. При значениях  $KПУ < 2$  для крупных и гравелистых песков

$$q' = 0,85q, \quad (5)$$

а для средних, мелких и пылеватых песков

$$q' = q. \quad (6)$$

2) Определяется вертикальная эффективная нагрузка (природное давление грунта с учетом взвешивающего действия воды) на глубине грунта, соответствующей приведенному значению  $q$ .

3) По номограмме (рис. 4) для значений  $q'$  и  $\sigma_v'$  определяется относительная плотность:

$$D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}, \quad (7)$$

где  $e_{max}$  - коэффициент пористости в предельно рыхлом сложении;

$e_{min}$  - коэффициент пористости в предельно плотном сложении;

$e$  - коэффициент пористости в условиях естественного залегания песка.

4) По значению  $D$  и на основе полученных из лабораторных испытаний значений  $e_{max}$  и  $e_{min}$  определяются значения коэффициента пористости  $e$ .

Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов

7.4. Угол внутреннего трения  $\varphi$  песчаных грунтов может определяться по:

методу Трофименкова Ю.Г. [18];

рекомендациям НГИ [16, 19].

7.4.1. Угол внутреннего трения песчаных грунтов по методу Трофименкова определяется по номограмме рис. 5.

На кривых номограммы пунктиром выделены участки, полученные путем экстраполяции. Используемые в номограмме значения  $q$  и  $\sigma_v'$  определяются в соответствии с настоящими рекомендациями (пп. 5.3.1).

7.4.2. Угол внутреннего трения  $\varphi$  песчаных грунтов по рекомендациям НГИ определяется следующим образом:

относительная  
плотность  
для песков D

$$D = \frac{1}{2,91} \ln \frac{q_2}{816 \cdot 0,71}$$

q, МПа

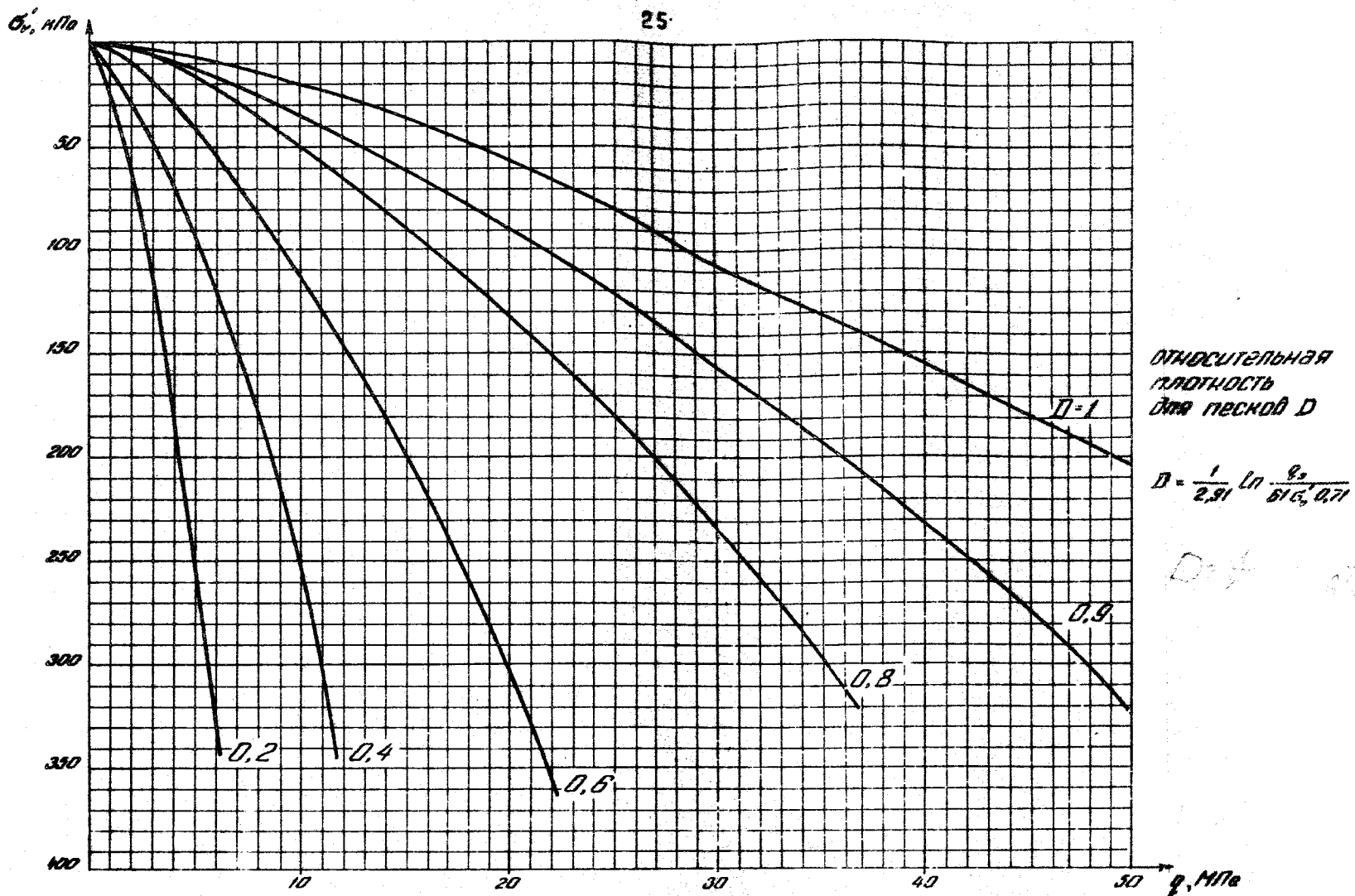


Рис. 4. Номограмма определения относительной плотности  $D$  песчаных грунтов

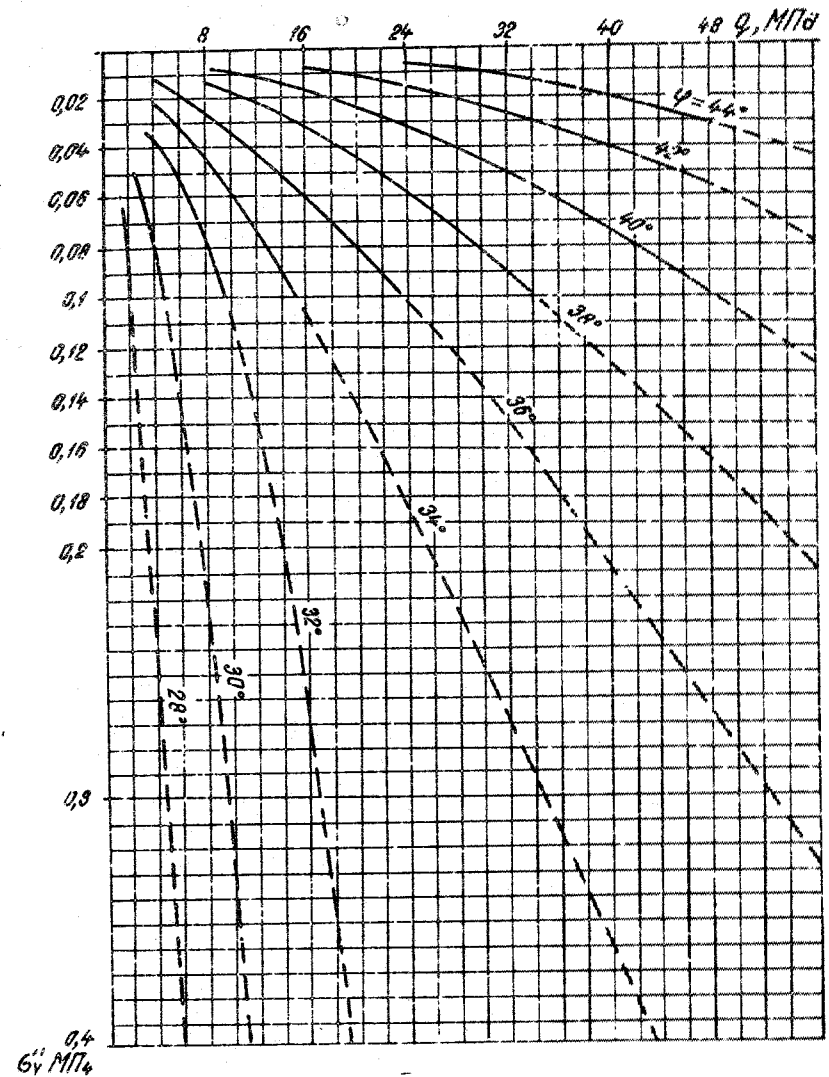


Рис. 5. Номограмма определения угла внутреннего трения песчаных грунтов по методу Трофименкова Д.Г.

- 1) для точки зондирования, соответствующей приведенному значению  $q$ , определяется вертикальная эффективная нагрузка  $\sigma_v$ ;
- 2) вычисляется значение отношения  $q/\sigma_v$ ;
- 3) по номограмме рис. 6 определяется угол внутреннего трения  $\varphi$ .

В зависимости от плотности сложения, принимаемой по ГОСТ 25100-82, в номограмме рис. 6 используются:

- прямая линия 1 - для рыхлых песков;
- прямая линия 2 - для песков средней плотности;
- прямая линия 3 - для плотных песков;
- прямая линия 4 - для песков, соответствующих  $K_{IV} > 6$ .

Для крупных и гравелистых песков, когда отношение  $i/q$  принимает значения  $i/q \leq 0,5\%$ , рекомендуется использовать номограмму рис. 6а (для более точного определения  $\varphi$ ).

7.4.3. В основе отечественных методов и методов НГИ, применяемых для определения сопротивления сдвигу, лежат аналогичные теоретические предпосылки, однако имеются различия в технике и режимах проведения экспериментов, что привело к определенным и однозначным расхождениям в результатах: по методам НГИ значения  $\varphi$  в среднем выше на  $4^\circ-5^\circ$  по сравнению с отечественными методами. Поскольку методы проектирования в СССР основываются на использовании отечественных методов определения прочностных характеристик: значения, полученные на основании применения методов НГИ, следует снижать на  $4^\circ-5^\circ$  [19].

#### Определение модуля деформации песчаных грунтов

7.5. Модуль деформации песчаных грунтов может определяться по:

- таблицам СНиП I.02.07-87;
- рекомендациям НГИ [16].

7.5.1. Нормативный модуль деформации песчаных грунтов в зависимости от значения приведенного сопротивления грунта под конусом зонда  $q$ , по СНиП I.02.07-87 определяется в соответствии с табл. 6 и рис. 7.

7.5.2. Нормативный модуль деформации по рекомендациям НГИ для песчаных грунтов определяется в зависимости от значения удельного сопротивления грунта под наконечником зонда  $q$  с учетом коэффициента переуплотнения  $K_{IV}$  (см. рис. 7) по формулам:

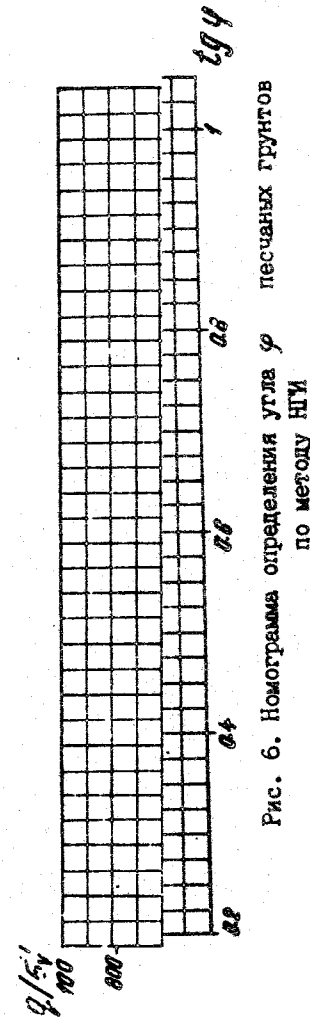


Рис. 6. Номограмма определения угла  $\varphi$  песчаных грунтов по методу НГИ

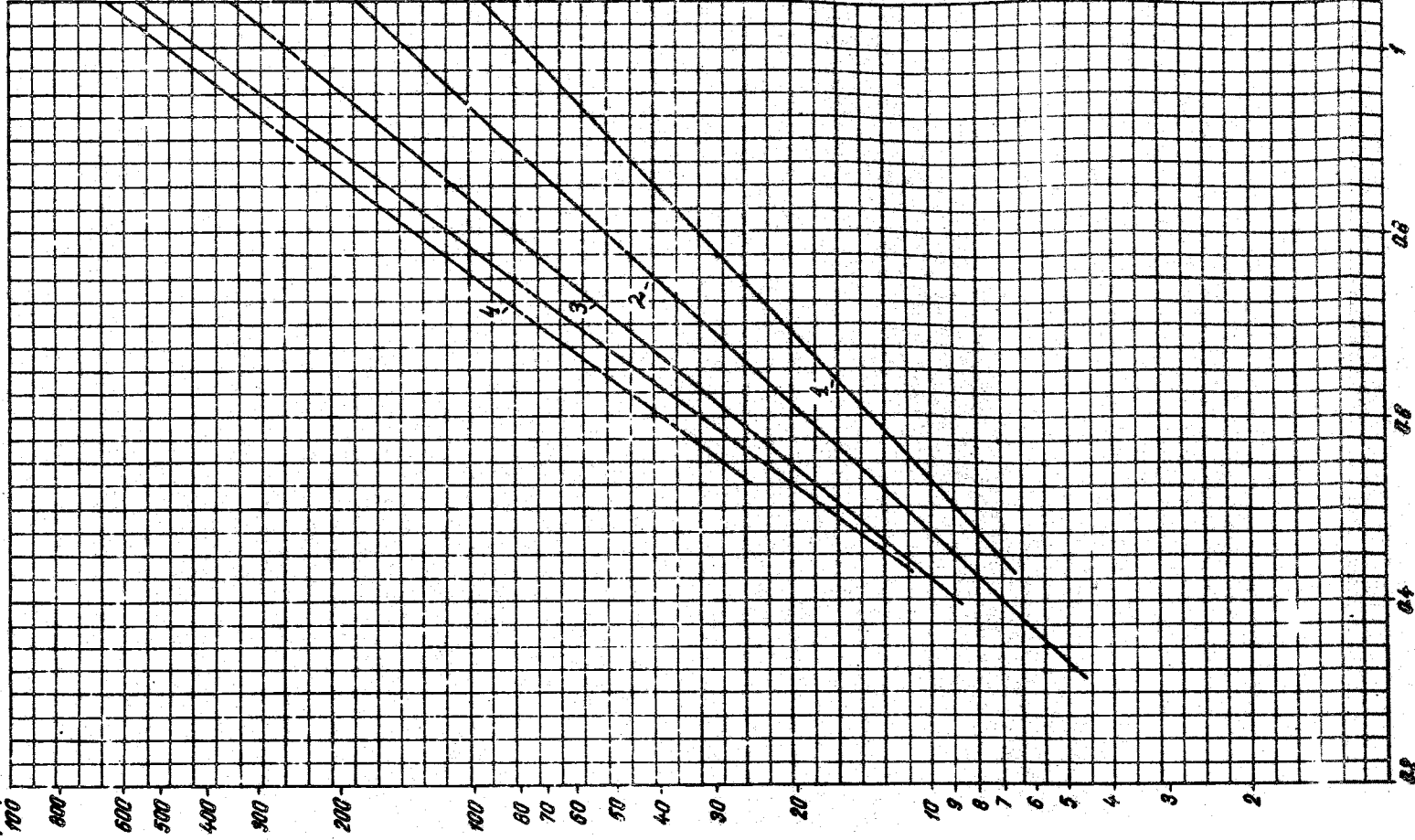
$q/s, \text{ т/м}^2$ 

Рис. 6. Номограмма определения угла  $\varphi$  песчаных грунтов по методу НГМ

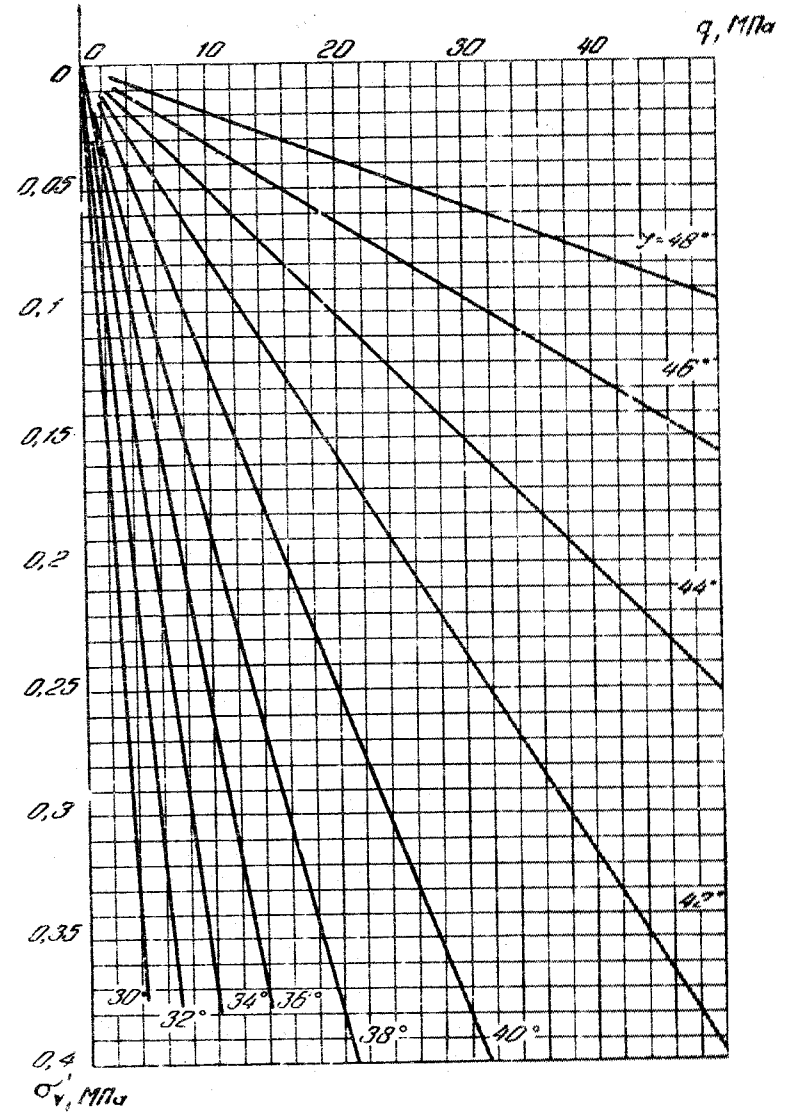


Рис. 6а. Определение угла внутреннего трения  $\varphi$  для песчаных грунтов при  $f/q < 0,5\%$

для  $K_{IV} < 2$

$$\begin{aligned} E &= 4q && \text{при } q < 10 \text{ МПа} \\ E &= 2q + 2 && \text{при } 10 \text{ МПа} < q < 50 \text{ МПа} \\ E &= 120 \text{ МПа} && \text{при } q > 50 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (8)$$

для  $K_{IV} \geq 2$

$$\begin{aligned} E &= 5q && \text{при } q < 50 \text{ МПа} \\ E &= 250 \text{ МПа} && \text{при } q > 50 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) определяют модуль деформации  $E$  для величины эффективной вертикальной нагрузки  $\sigma_v'$ , соответствующей глубине регистрации значения  $q_z$ .

Среднее значение модуля деформации  $E_{cp}$  для диапазона изменения эффективной вертикальной нагрузки (от  $\sigma_v'$  до  $\sigma_v' + \Delta\sigma_v'$ )

$$E_{cp} = E \sqrt{\frac{\sigma_v' + \Delta\sigma_v'/2}{\sigma_v'}} \quad (10)$$

где  $E_{cp}$  - среднее значение модуля деформации;

$\Delta\sigma_v'$  - диапазон изменения эффективной вертикальной нагрузки.

Таблица 6

| Пески                                            | Нормативный модуль деформации песчаных грунтов $E$ при $q$ , МПа |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                                  | 2                                                                | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Все виды, кроме аллювиальных и флювиогляциальных | 6                                                                | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| Аллювиальные и флювиогляциальные                 | 15                                                               | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |

Определение показателя текучести пылеватых и глинистых грунтов

7.6. Показатель текучести пылеватых и глинистых грунтов определяется по СНиП I.02.07-87 (см. рис.8, табл.7 настоящих рекомендаций).

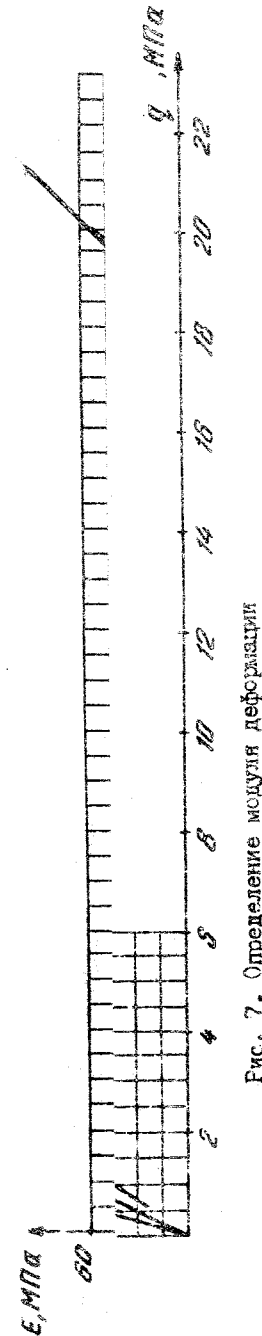


Рис. 7. Определение модуля деформации

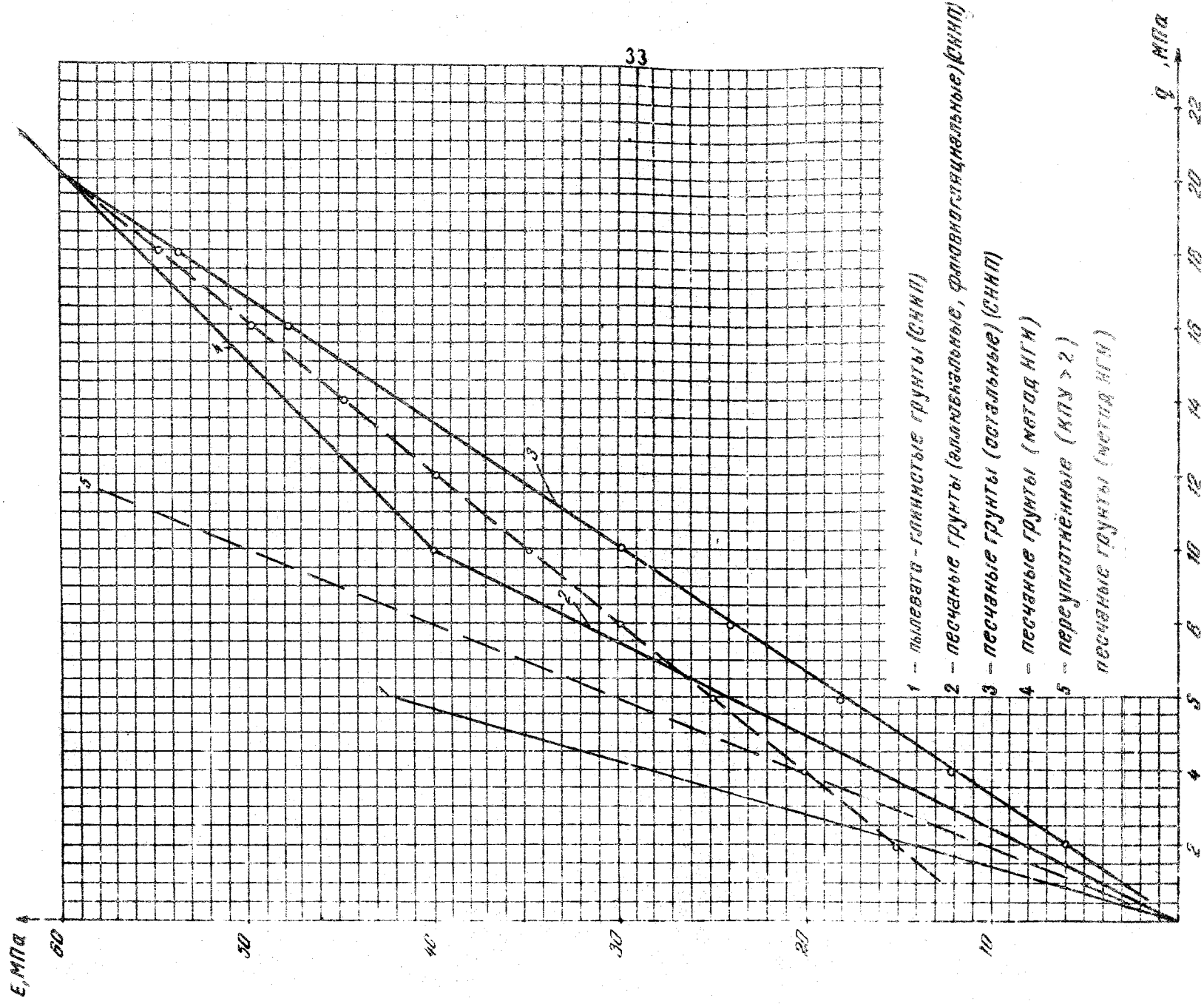


Рис. 7. Определение модуля деформации

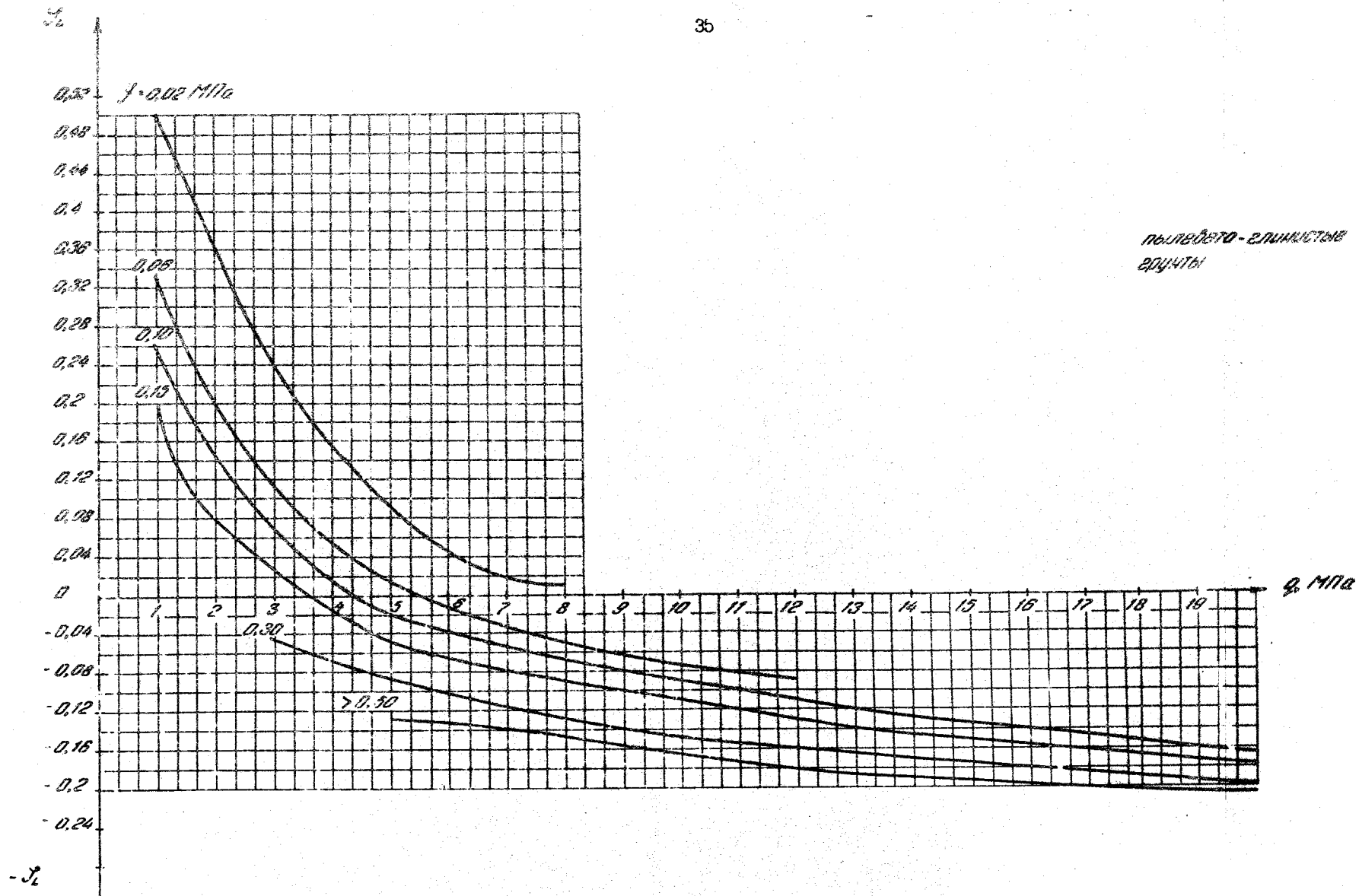


Рис. 8. Определение показателя текучести  $J_L$  по данным  $S_3$

Таблица 7

| q, МПа | Показатель текучести пылевато-глинистых грунтов f, МПа |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |  |
|--------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
|        | 0,02                                                   | 0,04  | 0,06  | 0,08  | 0,10  | 0,12  | 0,15  | 0,20  | 0,30  | 0,40  |  |  |  |
| 1      | 0,50                                                   | 0,39  | 0,33  | 0,29  | 0,26  | 0,23  | 0,20  |       |       |       |  |  |  |
| 2      | 0,37                                                   | 0,27  | 0,20  | 0,16  | 0,12  | 0,10  | 0,06  | 0,02  | -0,05 |       |  |  |  |
| 3      | 0,22                                                   | 0,16  | 0,12  | 0,09  | 0,07  | 0,05  | 0,03  | 0,01  | -0,03 | -0,06 |  |  |  |
| 5      | 0,09                                                   | 0,04  | 0,01  | 0,00  | -0,02 | -0,03 | -0,05 | -0,07 | -0,9  | -0,11 |  |  |  |
| 8      | 0,01                                                   | -0,02 | -0,04 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,11 | -0,13 | -0,14 |  |  |  |
| 10     |                                                        | -0,05 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,13 | -0,14 | -0,16 |  |  |  |
| 12     |                                                        |       | -0,09 | -0,11 | -0,11 | -0,12 | -0,13 | -0,14 | -0,16 | -0,17 |  |  |  |
| 15     |                                                        |       |       | -0,13 | -0,14 | -0,15 | -0,16 | -0,17 | -0,18 | -0,19 |  |  |  |
| 20     |                                                        |       |       |       | -0,17 | -0,18 | -0,18 | -0,19 | -0,20 | -0,20 |  |  |  |

# Определение сопротивления недренированному сдвигу пылеватых и глинистых грунтов

7.7. Сопротивление недренированному сдвигу  $c_u$  по рекомендациям НГИ 20 определяется по выражению

$$c_u = \frac{q - \sigma_v}{N_k}, \quad (11)$$

где  $N_k$  — коэффициент пропорциональности;

$\sigma_v$  — полная вертикальная нагрузка, МПа;

$q$  — приведенное значение сопротивления грунта под конусом, МПа.

Среднее значение коэффициента пропорциональности принимается:

$N_k = 17,5$  для донных установок СЗ (диапазон возможных значений 15-20);

$N_k = 15$  для скважинных установок СЗ (диапазон возможных значений 12-18).

Указанные значения  $N_k$  используются в том случае, когда нет возможности его более точного определения при помощи другого метода испытаний грунтов в условиях естественного залегания. На практике для этих целей может быть использована установка вращательного сдвига (крыльчатка) в скважинном или донном варианте (прил. 9).

## Определение прочностных характеристик пылевато-глинистых грунтов в дренированном состоянии

7.8. Прочностные характеристики пылеватых и глинистых грунтов в дренированном состоянии (угол внутреннего трения  $\varphi$  и величина удельного сцепления  $c$ ) следует выполнять зондом с измерением суммарного порового давления  $u$  (прил. 10 21).

В случае отсутствия зонда с датчиком измерения суммарного порового давления для приближенной оценки угла внутреннего трения и удельного сцепления может быть использован СНиП 1.02.07-87 (табл. 8, рис. 5).

Табл. 8 рекомендуется использовать для определения прочностных характеристик при глубине зондирования по грунту не более 15 м.

С.МПа  $\varphi^\circ$

Рис. 9. Определение прочностных характеристик пылевато-глинистых грунтов

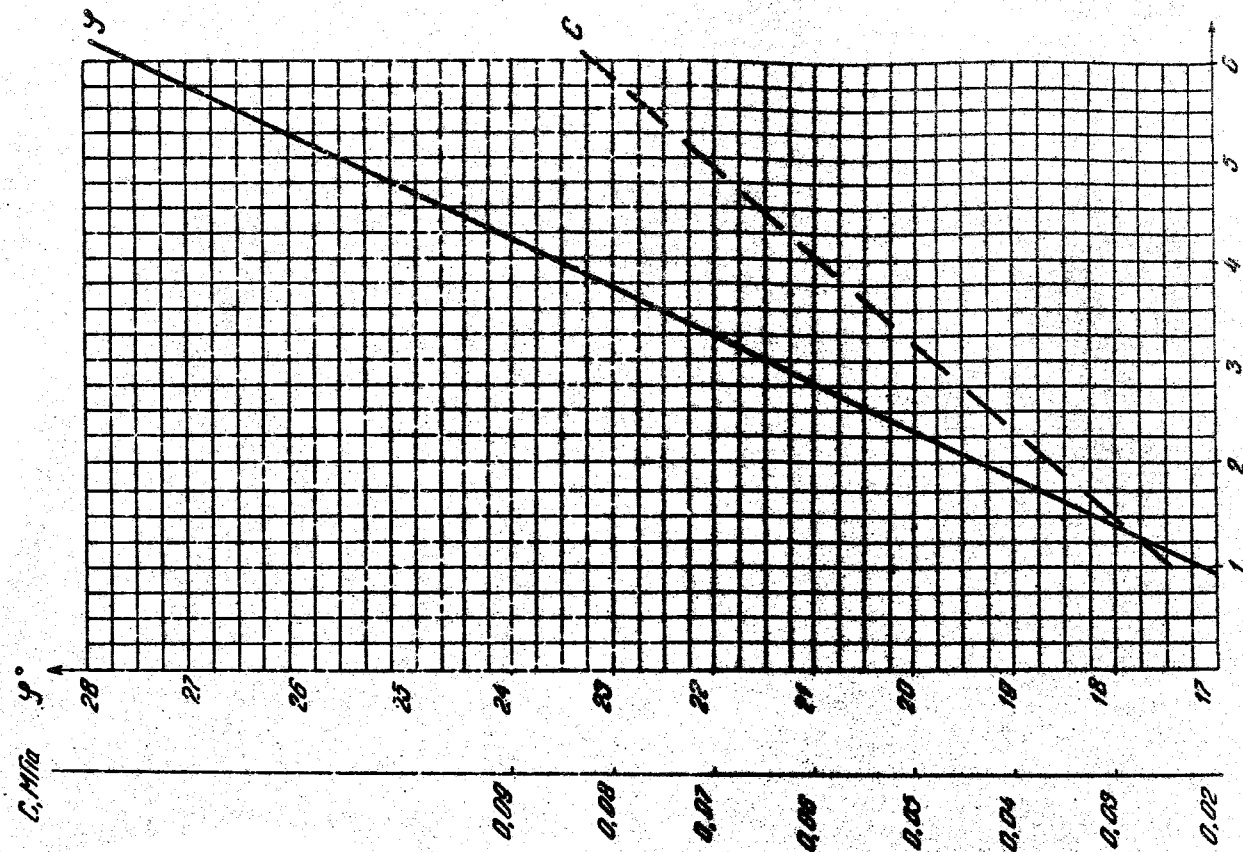


Рис. 9. Определение прочностных характеристик пылеватых-глинистых грунтов

| $q$ , МПа | Удельное сцепление, $c$ ,<br>МПа | Угол внутреннего<br>трения $\varphi$ , градусы |
|-----------|----------------------------------|------------------------------------------------|
| 1         | 0,024                            | 17                                             |
| 2         | 0,036                            | 19                                             |
| 3         | 0,047                            | 22                                             |
| 4         | 0,058                            | 24                                             |
| 5         | 0,070                            | 25                                             |
| 6         | 0,082                            | 28                                             |

Определение модуля деформации пылеватых и глинистых грунтов

7.9. Модуль деформации пылеватых и глинистых грунтов можно определять по:

СНиП I.02.07-87;

рекомендациям НГИ [21].

7.9.1. По таблицам СНиП I.02.07-87 модуль деформации определяется в соответствии с табл. 9 (рис. 7).

Таблица 9

| $q$ , МПа | Нормативный модуль деформации, $E$ ,<br>МПа |
|-----------|---------------------------------------------|
| 1         | 7                                           |
| 2         | 14                                          |
| 3         | 21                                          |
| 4         | 28                                          |
| 5         | 35                                          |
| 6         | 42                                          |

7.9.2. По рекомендациям НГИ модуль деформации пылеватых и глинистых грунтов определяется по формуле

$$E = m(q - \sigma_v), \quad (12)$$

где  $m$  — постоянный коэффициент,  $m = 10 \pm 2$ ;

$\sigma_v$  — полная вертикальная нагрузка.

## Определение основных терминов

| Термин                                       | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бьеррум, поправка Бьеррума                   | Поправочный коэффициент $m$ , который вводится для определения сопротивления недренированному сдвигу $c_u$ на основе полученного сопротивления вращательному срезу $\tau_{cr}$ (испытаний крыльчаткой)<br>$c_u = m \tau_{cr}$                                                                                                                                 |
| Европейский стандарт                         | Стандарт ISSMFE-77 организации "Международное общество по механике грунтов и фундаментостроению" ( <i>International Society for Soil mechanics and Foundation Engineering</i> )<br>Стандарт ISSMFE-77 принят в 1977 г. на 9 конференции организации в Токио, соответствует американскому стандарту ASTM 3441 (принят в 1979 г.)                               |
| Зона рассеяния избыточного порового давления | Расстояние по радиальному направлению от центра конуса зонда, которое соответствует значению избыточного порового давления $\Delta u \approx 0$                                                                                                                                                                                                               |
| Зонд пенетрационного каротажа                | Устройство, воспринимающее сопротивление грунта с одновременным выполнением каротажа скважины в процессе вдавливания; определяющие признаки: диаметр не ограничен, угол при вершине конуса $60^\circ$ ; длина цилиндрической части от основания конуса не менее, чем два диаметра муфты                                                                       |
| Зонд порового давления                       | Зонд статического зондирования со встроенными фильтрами и датчиком суммарного порового давления $u$ . В настоящее время получили наибольшее распространение 3 варианта размещения фильтров: непосредственно за основанием конуса ( <i>vd Berg</i> ), на поверхности конуса ( <i>Fugro</i> ), непосредственно на вершине конуса ( <i>Melland's Engineers</i> ) |
| Зонд статического зондирования               | Устройство, воспринимающее сопротивление грунта в процессе вдавливания; определяющие признаки: диаметр 35,6 мм, угол при вершине конуса $60^\circ$ ; длина цилиндрической части от основания конуса 1 м                                                                                                                                                       |
| Избыточное поровое давление, $\Delta u$      | Часть порового давления, превышающего гидростатическое давление, возникающая как результат вытеснения жидкости из грунта в процессе вдавливания зонда, $\Delta u$ может принимать                                                                                                                                                                             |

| Термин                                                             | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конусный наконечник                                                | отрицательные значения в случае возникновения трещин в процессе вдавливания в плотных и переуплотненных грунтах, а также при наличии дилатансии<br>Нижняя часть зонда, имеющая отдельную от остального зонда механическую передачу усилия на измерительный датчик и воспринимающая сопротивления грунта под конусом в процессе вдавливания |
| Коэффициент консолидации,                                          | Коэффициент, отражающий исходные условия процесса уплотнения<br>$c_v = K_r / \alpha \rho_w$ ,<br>где $K_r$ - коэффициент фильтрации;<br>$\rho_w$ - плотность воды;<br>$\alpha$ - коэффициент относительной сжимаемости                                                                                                                     |
| Коэффициент переуплотнения $KPU$                                   | Коэффициент, характеризующий переуплотнение грунта (см. "переуплотнение")<br>$KPU = \frac{\sigma_{mc1}}{\sigma_p}$ ,<br>где $\sigma_{mc1}$ - нагрузка, соответствующая уплотненности грунта;<br>$\sigma_p$ - эффективное природное давление грунта в настоящее время                                                                       |
| Коэффициент площади давления (статического зондирования), $\alpha$ | Коэффициент, отражающий степень влияния конструкции зонда на величину суммарного порового давления и на величину удельного сопротивления грунта под конусом<br>$\alpha = S_r / S_k$ ,<br>где $S_r$ - внутреннее сечение муфты трения;<br>$S_k$ - площадь основания конуса                                                                  |
| Коэффициент порового давления (статического зондирования)          | Коэффициент, отражающий связь между избыточным поровым давлением и прочностными характеристиками грунта<br>$B_q = \frac{\Delta u}{q_n - \sigma_v}$ ,<br>где $\Delta u$ - избыточное поровое давление;<br>$q_n$ - скорректированное значение $q$ ;<br>$\sigma_v$ - полная вертикальная нагрузка                                             |

| Термин                                                                                 | Определение                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Муфта трения                                                                           | Часть зонда, расположенная непосредственно за конусом, имеющая механическую передачу усилия на измерительный датчик и воспринимающая сопротивление грунта по боковой поверхности                                                                               |
| Переуплотнение                                                                         | Уплотнение (осадочного материала) большее, чем можно ожидать при существующей нагрузке [22]. Переуплотнение обычно имеет место, когда породы полностью консолидированы под действием веса вышележащих толщ, впоследствии полностью или частично удаленных [23] |
| Погрешность основная                                                                   | Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях                                                                                                                                                                                            |
| Погрешность дополнительная                                                             | Изменения погрешности средства измерения вследствие отклонения от нормального значения одной из влияющих величин                                                                                                                                               |
| Статическое зондирование                                                               | Процесс вдавливания зонда в грунт с постоянной скоростью и с одновременным измерением показателей сопротивления грунта                                                                                                                                         |
| Суммарное поровое давление, $u$                                                        | Давление поровой жидкости в водонасыщенных грунтах, возникающее вокруг фильтра зонда порового давления в процессе вдавливания $u = u_s + \Delta u,$ где $u_s$ — гидростатическое давление;<br>$\Delta u$ — избыточное поровое давление                         |
| Удельное сопротивление грунта под конусом зонда, $q_z$                                 | Сопротивление грунта конусному наконечнику зонда, отнесенное к площади основания конуса                                                                                                                                                                        |
| Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда, $f$ | Сопротивление грунта на боковой поверхности муфты зонда, отнесенное к поверхности муфты                                                                                                                                                                        |
| Чувствительность, $S$                                                                  | Отношение сопротивления сдвигу грунта в ненарушенном состоянии $\tau_n$ к той же характеристике после пережатия образца $\tau_{нар}$ $S = \frac{\tau_n}{\tau_{нар}}$                                                                                           |
| Остировка                                                                              | операции по доведению погрешностей измерения до нормы                                                                                                                                                                                                          |

### Основные сведения по скважинной установке статического зондирования

Скважинная установка *Wison* (разработка фирмы *Fugro*), установленная на инженерно-геологических судах типа "Бавенит" и "Бакерит", представляет собой комплексное техническое устройство, предназначенное для выполнения СЗ с забоя скважины. Объем сведений, представленный в данном приложении, соответствует международной практике [24] и носит справочный характер. Детальная информация по установке дается в инструкции по эксплуатации (*operational manual*), приложенной к оборудованию упомянутых выше судов.

1. Опорой для вдавливания в грунт зонда СЗ установкой *Wison* служит устройство *Seacram*, содержащее груз, который присоединяется к бурильной колонне на морском дне посредством зажимного устройства, входящего в *Seacram*. Общий вес *Seacram* в погружном состоянии составляет 130 кН. Выполнение операций СЗ установкой *Wison* на судах типа "Бавенит" и "Бакерит" связано с использованием ряда устройств в соответствии с технологией работы судна в режиме бурения с зондированием (см. *Operational manual*).

Подача электрической и гидравлической энергии, а также передача измеряемых параметров с зонда *Wison* осуществляется шланго-кабелем, уложенным на специальную лебедку.

2. Собственно установка *Wison* состоит из следующих основных компонентов [9, 11, 24]: трос, кабель, запорное устройство, гидравлический цилиндр, зонд.

В цилиндре находится поршень, удлинительная штанга зонда и сам зонд. Изгиб удлинительной штанги предотвращается применением направляющих. В верхней части устройства располагаются гидравлические и электрические соединения.

2.1. На судах "Бавенит" и "Бакерит" с установкой применяют зонды типа F5 SCE/V (таб. I Рекомендаций).

3. Работа с установкой *Wison* состоит из повторения следующих операций:

бурение скважины до глубины, выбранной для регистрации показателей СЗ;

опускание собственно установки *Wison* в скважину и закрепление ее;

зондирование и регистрация показателей;

подъем устройства *Wison* и возврат зонда в исходное состояние;

следующее разбуривание скважины.

4. Дополнительные метрологические характеристики для зондов, применяемых в установках *Wison* и *Seacal*:

4.1. Применяемые термины погрешностей поясняются на рис. П.2.1.

4.2. Основная приведенная погрешность градуировки нового зонда не более 0,4 % от наибольшего значения диапазона измерений.

4.3. Основная приведенная погрешность градуировки может увеличиваться в процессе эксплуатации до 3 %. Регулярное выполнение юстировки (в соответствии с инструкцией) позволяет сохранить данную погрешность в пределах, указанных в п.4.2.

4.4. Нелинейность и гистерезис измерительной системы зонда не превышает 0,5 % наибольшего значения диапазона.

4.5. Стабильность нулевой отметки шкалы в процессе эксплуатации не хуже  $50 \text{ Н} \pm 1,3 \%$  от измеряемой величины.

4.6. Случайная погрешность не более 0,5 % от наибольшего значения диапазона измерений.

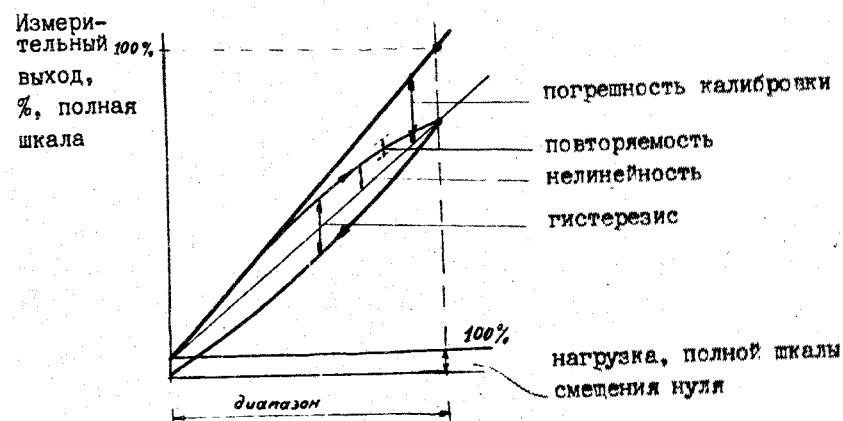


Рис. П.2. . Термины погрешностей

### Приложение 3 Справочное

#### Основные сведения по донной установке статического зондирования

Донная установка *Seacal* (разработка фирмы *Fugro*), установленная на судах типа "Бавенит" и "Бакерит", представляет собой комплексное техническое устройство, предназначенное для выполнения СЗ с поверхности дна моря. Объем сведений, представляемый в данном приложении, соответствует международной практике [24] и носит справочный характер. Детальная информация по установке дается в инструкции по эксплуатации (*Operational manual*).

1. Опорой для внедрения зонда СЗ в грунт служит вес собственно установки *Seacal*, общий вес которой может быть более 20 т.

Выполнение операции СЗ установкой *Seacal* на судах типа "Бавенит" и "Бакерит" связано с использованием бурового и специального оборудования судна.

2. Собственно донная установка *Seacal* содержит следующие основные устройства (рис. П.3.1):

рама, предназначенная для сборки всех компонентов с целью выполнения операции СЗ; на раме, кроме того, в каркасных балках укреплен балласт из свинца (около 50 кН);

балластные блоки, предназначенные для создания необходимой силы реакции до 900 кН (каждый блок имеет массу 20 кН);

верхнее зажимное устройство, предназначенное для удерживания штанг во время хода гидравлического домкрата вверх и предотвращения подъема штанг лебедкой (зажим штанг);

гидравлический домкрат, предназначенный для развития необходимого усилия для внедрения зонда в грунт (и для извлечения колонны штанг) (механизм вдавливания);

вдавливающее зажимное устройство, предназначенное для передачи вдавливающего и извлекающего усилий на колонну штанг (зажим штанг);

электронная система дистанционного управления;

гидравлический манифольд — устройство, содержащее исполнительные органы в схеме гидравлической автоматики;

гидравлический аккумулятор, предназначенный для обеспече-

ния необходимой энергии для возврата домкрата в исходное положение.

2.1. На судах "Бавенит" и "Бакерит" с установкой применяется зонд F7,5 СКЕ/V (табл. I Рекомендаций).

2.2. Дополнительные метрологические характеристики для зондов фирмы *Fugro* приведены в прил. 2.

3. Работа с установкой *Seacal* состоит из следующих операций:

спуск установки в воду через шахту судна;

опускание его на дно на несущих тросах с использованием необходимого судового оборудования;

вдавливание колонны штанг с зондом с одновременной регистрацией показателей СЗ;

извлечение колонны штанг с зондом из грунта;

подъем установки на борт судна.

## Тарировка зонда статического зондирования

Как показывают исследования фирмы *Fugro* [6], отклонения от значений первичной (или предыдущей) тарировки вызываются главным образом проникновением частиц грунта в канавки зонда, а также нестабильностью аппаратуры.

I. Тарировка зондов статического зондирования выполняется путем экспериментального определения зависимости между величиной регистрируемого сигнала и отклонением регистратора.

I.1. Для проведения тарировки по показателю  $q_z$  используется динамометр и домкрат (в случае использования устройства *Wilson* действующую силу можно измерять достаточно точно с помощью встроенного датчика давления). Тарировка по показателю  $f_z$  в полевых условиях не производится.

Тарировка по показателю  $q_z$  производится подачей на конус зонда нагрузки от домкрата через динамометр. Нагрузка должна повышаться ступенями 15–20 % от максимального значения диапазона. Выдержка времени на каждой ступени не менее 1 мин. Нагрузка должна повышаться до 100 %, а затем понижаться в обратном порядке до нулевого значения.

Тарировочная характеристика считается достоверной, если при повторных измерениях и обратном ходе погрешность не превышает  $\pm 5$  %.

Полученные результаты сводят в таблицу, где указывают значение общего усилия, значение и показание регистрирующего прибора. По данным таблицы строят усредненный график тарировки.

I.2. Для каждого конкретного устройства применяется свое, тарировочное оборудование, однако основные элементы установки для тарирования зонда статического зондирования. На рис. П.4.1. I – рама; 2 – шаровой стык; 3 – вывод на регистрирующий прибор; 4 – верхний стакан для установки зонда; 5 – зонд; 6 – муфта трения зонда; 7 – конусный наконечник зонда; 8 – нижний стакан для зонда; 9 – подставка домкрата; 10 – домкрат.

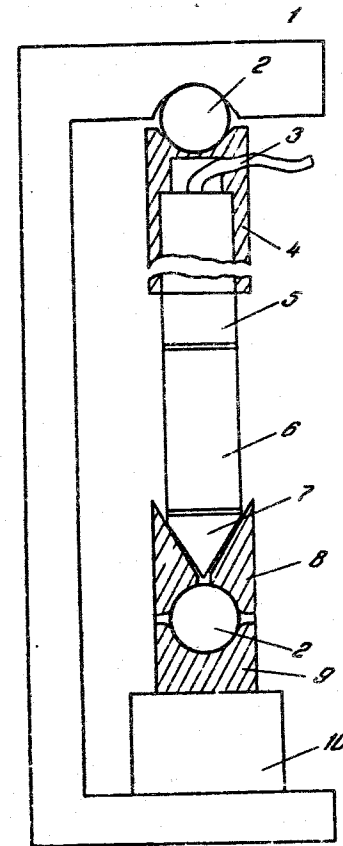


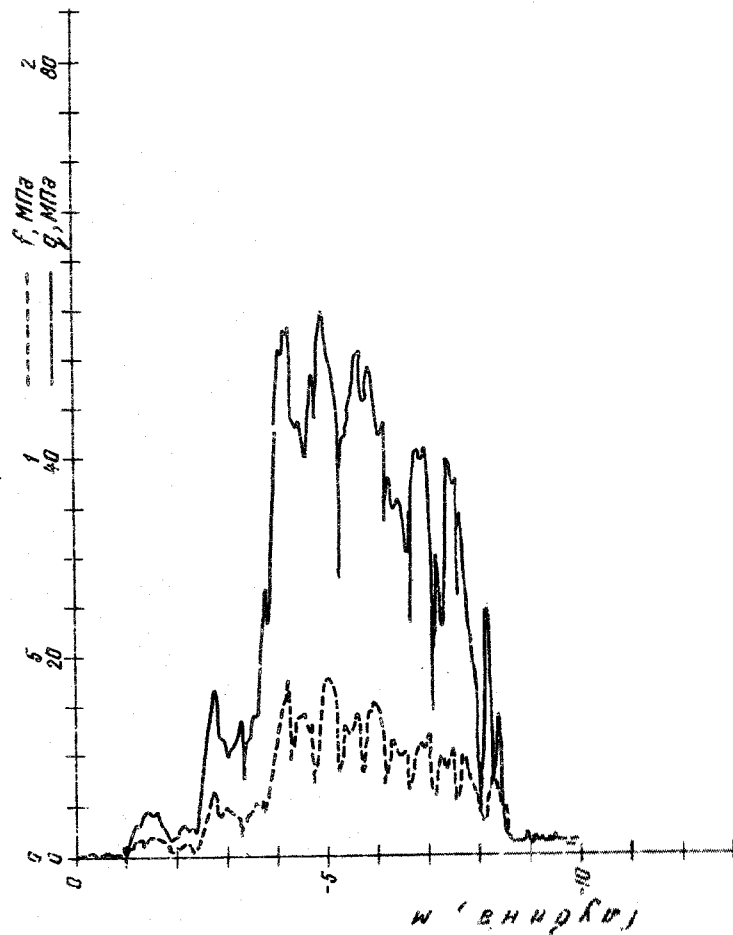
Рис. П.4.1. Основные элементы установки для тарирования зонда СЗ

Паровые стыки необходимы для того, чтобы избежать отклонения от оси зонда прилагаемой нагрузки. В случае необходимости тарирования показателя  $f_z$  применяется специальный нижний стакан с устройством зажима муфты трения.

1.3. В процессе тарировки должно быть обеспечено постоянное характеристик окружающей среды, напряжения питания, а также отсутствие мощных электромагнитных полей.

Приложение 5

ПРИМЕР РЕГИСТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ



Расчленение инженерно-геологического разреза  
по результатам статического зондирования  
с измерением суммарного порового давления

1. Результаты СЗ с измерением суммарного порового давления оформляются в соответствии с положениями, изложенными в разделе 5 настоящих рекомендаций.

1.2. Масштаб графиков  $u$  по горизонтали следует принимать: на 1 см 0,1 МПа.

1.3. График суммарного порового давления  $u$  следует выполнять совмещенным с графиком  $q_s$ .

1.4. Все положения, приведенные здесь и далее, действительны для зондов с датчиком порового давления, имеющих диаметр 36 мм и конфигурацию, соответствующую ГОСТ 20069-81, тип II и Европейскому стандарту ISSMFE-77.

1.5. В зависимости от положения фильтра датчика суммарного порового давления регистрируемые значения показателя могут быть больше (фильтр расположен на конце зонда) 25 или меньше (фильтр расположен непосредственно за основанием конуса).

2. Растифровку графиков СЗ с использованием зонда с датчиком порового давления следует выполнять с выделением характерных интервалов с одинаковыми или близкими значениями удельного сопротивления под наконечником  $q$  (на участке боковой поверхности зонда  $f$ ) и порового давления  $u$ .

2.1. На графиках изменения  $u$  по глубине  $h$  принимается, что начало плавного перегиба соответствует пересечению фильтром зонда границы между различными слоями грунта. Изменение величины избыточного порового давления  $\Delta u$  ( $\Delta u = u - u_g$ , где  $u_g$  - гидростатическое давление) продолжается до полного погружения фильтра зонда в нижележащий слой и прекращения влияния контакта слоев на величину  $\Delta u$ .

2.2. Предварительную оценку типа грунта по величине следует выполнять на основе номограммы рис. П.7.1.

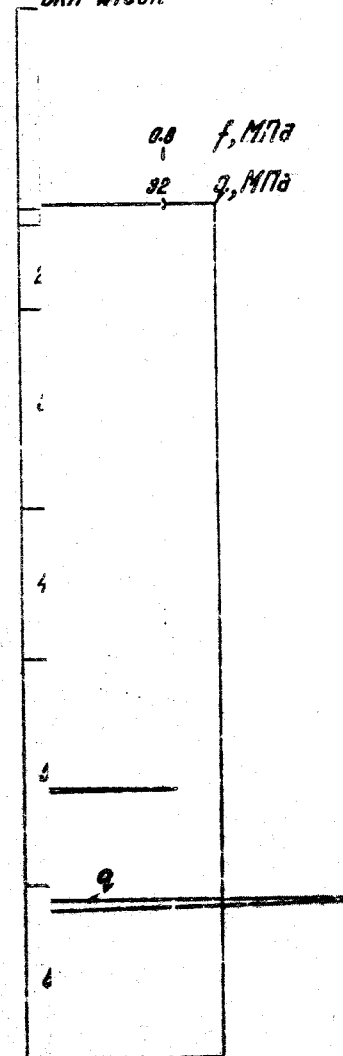
По вертикали номограммы откладывается скорректированное значение  $q_n$ , равное для донной установки

$$q_n = q + 0,8(1 - \alpha),$$

СЗРОВАНИЯ №3

ЧРОВАНИЯ 17.11.87

ВКН Wilson



скважина N 51A

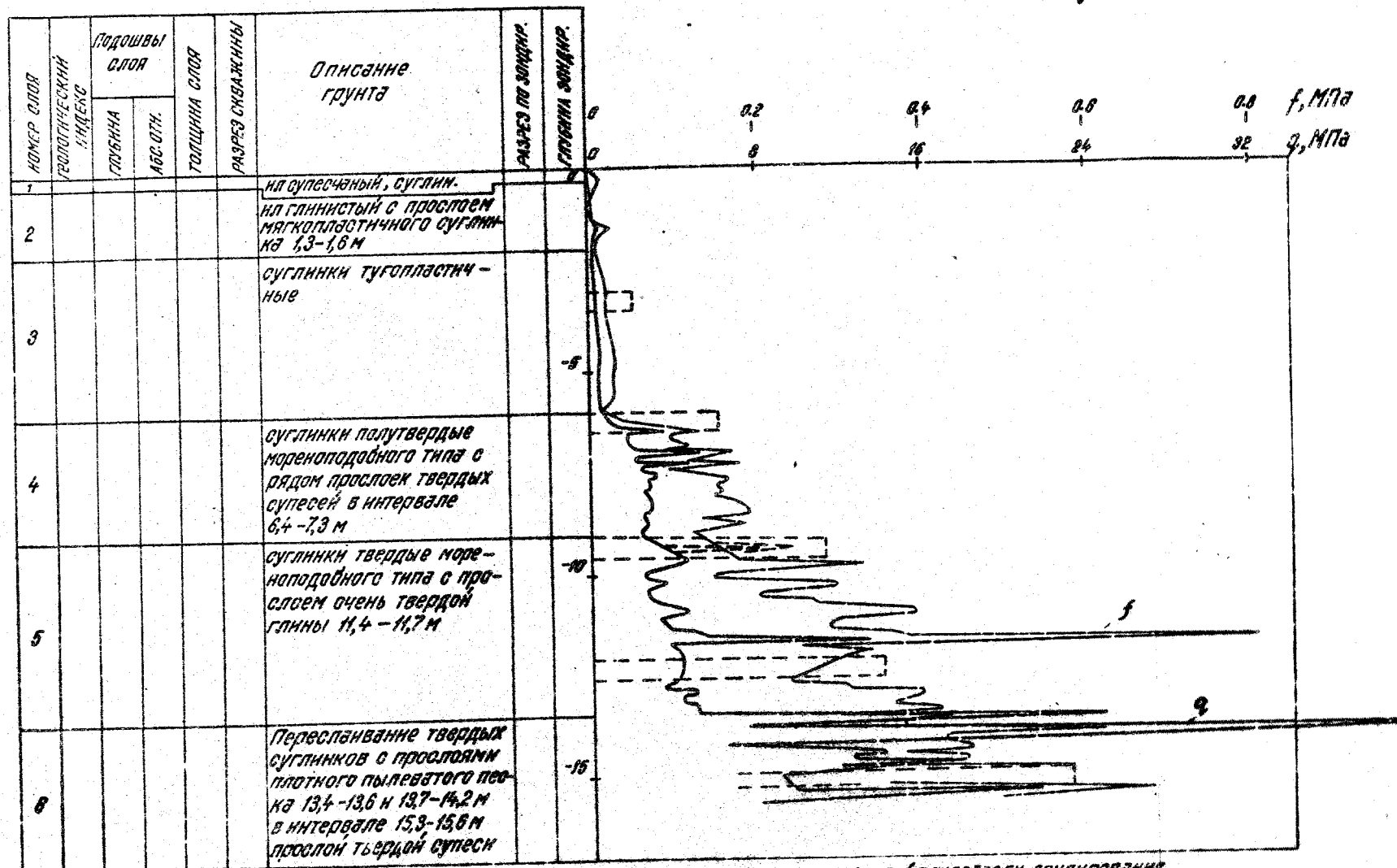
способ бурения (непрерывное вращательное)

дата бурения 17.11.87

точка зондирования N3

дата зондирования 17.11.87

тип установки Wilson



где  $q_n$  - скорректированное по поровому давлению значение  $q$ , МПа;

$\alpha$  - коэффициент площади давления - отношение внутреннего сечения муфты трения  $S_r$  (рис. П.71) к площади основания конуса  $S_k$  (для зондов с датчиками порового давления фирм Fugro и v.d Berg  $\alpha=0,78$ ) [26].

Аналогичное соотношение используется для скважинной установки:

$$q_n = q + 0,3(1-\alpha)u + \rho_s h_c,$$

где  $\rho_s$  - удельный вес воды;

$h_c$  - глубина скважины, м.

По горизонтали номограммы откладывается значение коэффициента порового давления  $B_q$ , который определяется выражением:

$$B_q = \frac{u - u_r}{q_n - \sigma_v},$$

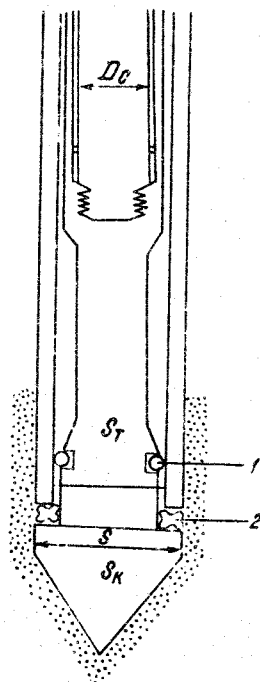
где  $B_q$  - коэффициент порового давления;

$u_r$  - гидростатическое давление, МПа;

$q_n$  - скорректированное значение  $q$ , МПа;

$\sigma_v$  - полная вертикальная нагрузка в точке зондирования.

2.2.1. При использовании номограммы значение суммарного порового давления соответствует расположению фильтра непосредственно за конусом (зонд v.d. Berg), поэтому в случае применения зонда с расположением фильтра на конусе (Fugro) показатель следует умножить на коэффициент  $Kq_2 = 0,8$ .



- 1 - уплотнение от воды  
 2 - уплотнение от грунта  
 $S_T$  - внутреннее сечение муфты трения  
 $S_k$  - площадь основания корпуса

Рис. П.7.2. Параметры, определяющие отношение  $\alpha = S / S_k$

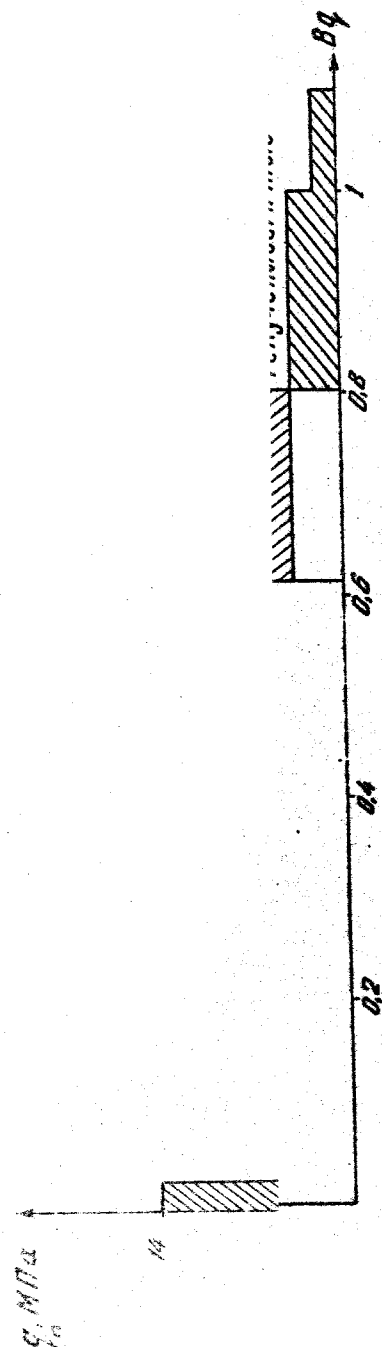


Рис. П.7.1. Оценка типа грунта по результатам СЗ с измерением порового давления

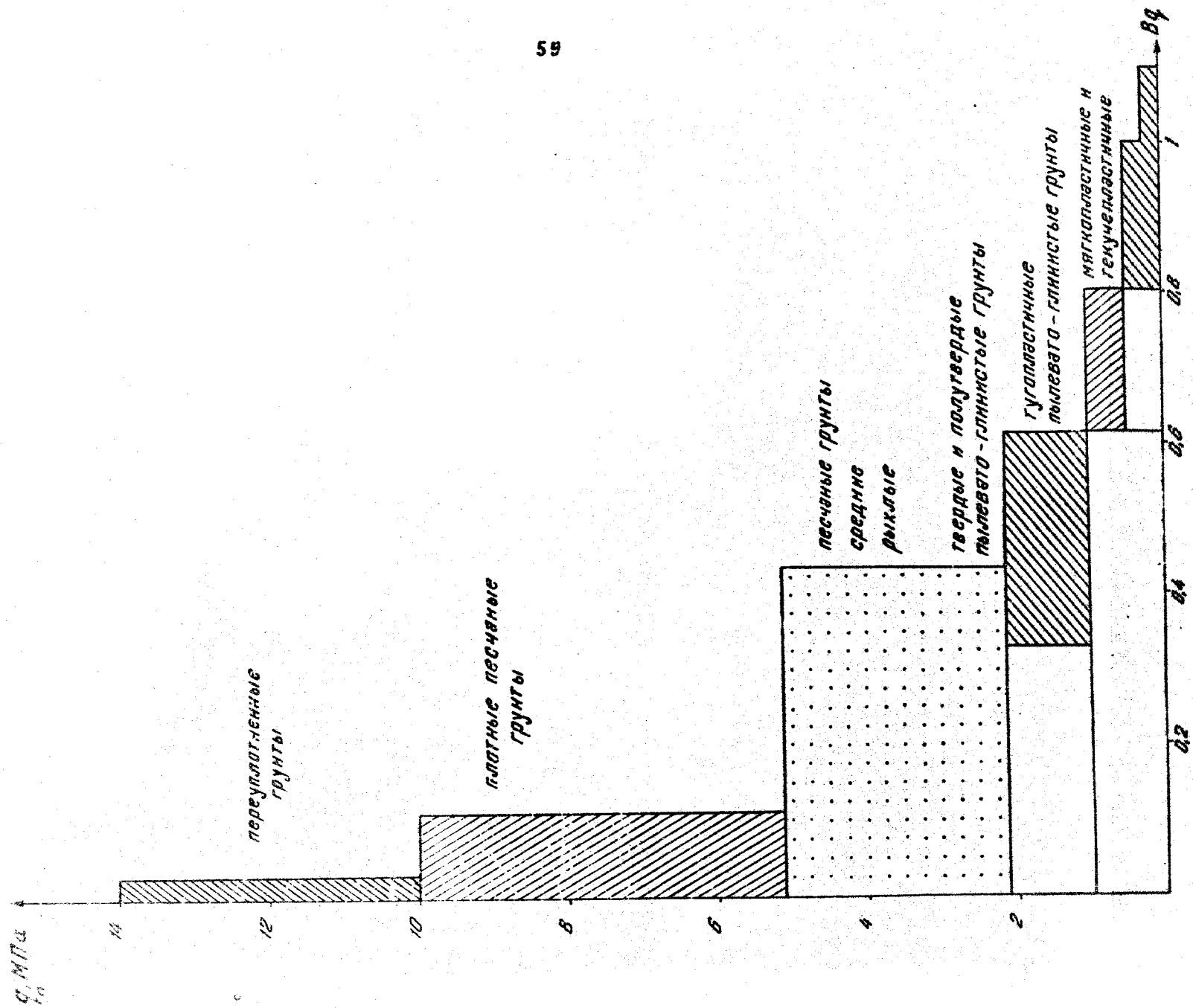


Рис. П.7.1. Оценка типа грунта по результатам СЗ с измерением порового давления

## Определение коэффициента переплотнения КПУ

I. Переуплотнение (Справочное приложение I) оценивается при помощи коэффициента переплотнения (КПУ).

I.1. Коэффициент переплотнения КПУ определяется формулой:

$$КПУ = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0},$$

где  $\sigma_{max}$  - максимальная нагрузка на данный грунт, имевшая место со времени образования грунта, МПа;

$\sigma_0$  - современное природное давление грунта, МПа.

Определение КПУ выполняется двумя следующими способами:

1) на основе изучения геологической истории места проведения изысканий определяется  $\sigma_{max}$ , а затем по формуле вычисляется КПУ ( $\sigma_0$  определяется в соответствии с глубиной зондирования);

2) на основе определения КПУ для соседних слоев пылеватого-глинистых грунтов.

I.2. Способ определения КПУ для пылеватых и глинистых грунтов состоит в следующем.

Для образцов глинистого грунта в лаборатории определяется число пластичности  $I_p$  (%). Затем, по эмпирической формуле определяют отношение  $(\sigma'_s / \sigma'_v)_{н.у.}$  для нормально-уплотненного (н.у.) состояния грунта:

$$(\sigma'_s / \sigma'_v)_{н.у.} = 0,11 + 0,0037 I_p,$$

где  $I_p$  - число пластичности, % (рис. П.8.1);

$\sigma'_s$  - сопротивление недренированному сдвигу для нормально-уплотненного состояния, МПа;

$\sigma'_v$  - эффективная вертикальная нагрузка, МПа.

Далее из полезных испытаний *in situ* определяют  $\sigma_s / \sigma'_v$  для полученного образца глины. Затем по графику (рис. П.8.2) определяют КПУ [27].

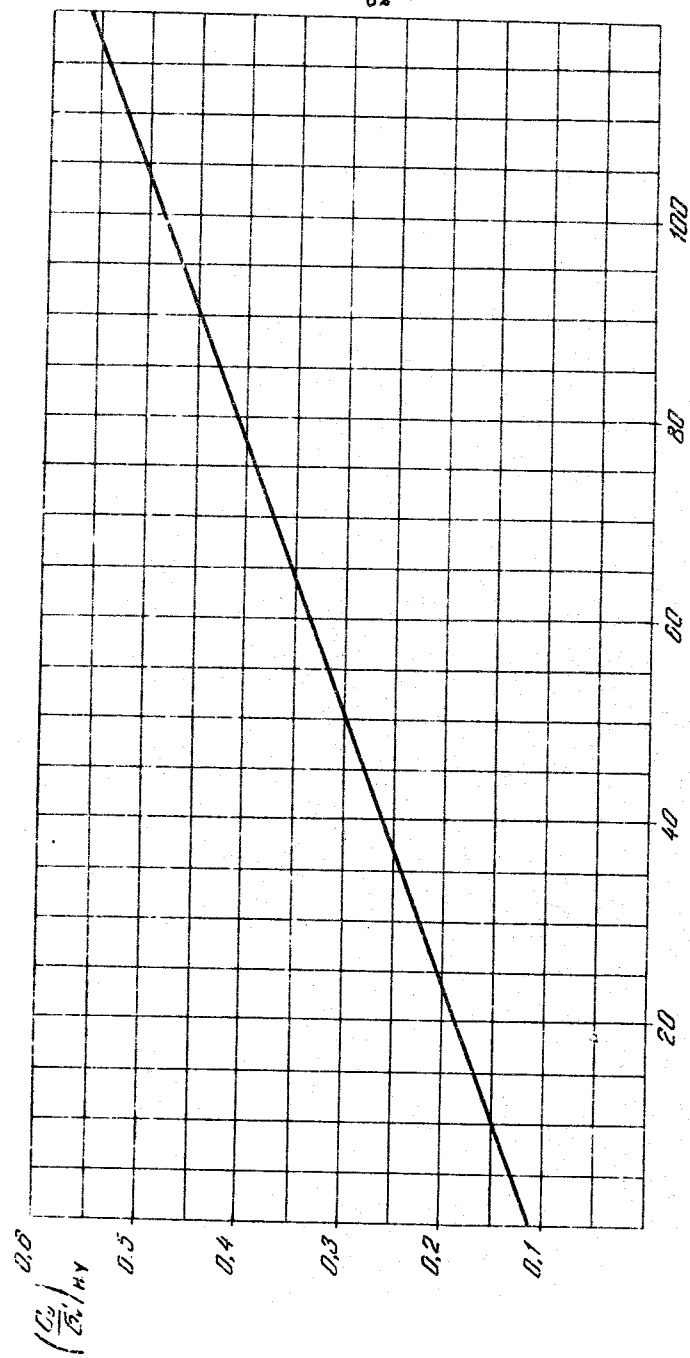
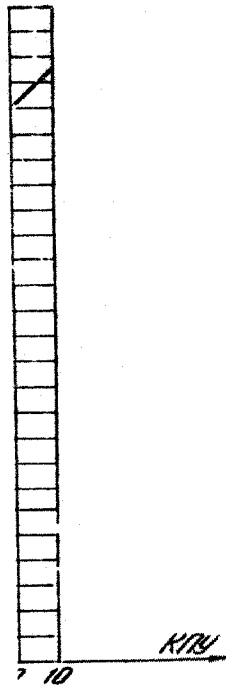


Рис. П.8.1. Определение  $C_v / C_v'$  для нормально - уплотненного состояния

$$\frac{C_v / C_v'}{(C_v / C_v')_{\text{н}}}$$



$$\frac{C_u/\sigma'_v}{(C_u/\sigma'_v)_{\text{нп}}}$$

$$C_u/\sigma'_v = (C_u/\sigma'_v)_{\text{нп}} \cdot K_{\text{ПВ}}^{\text{нп}}$$

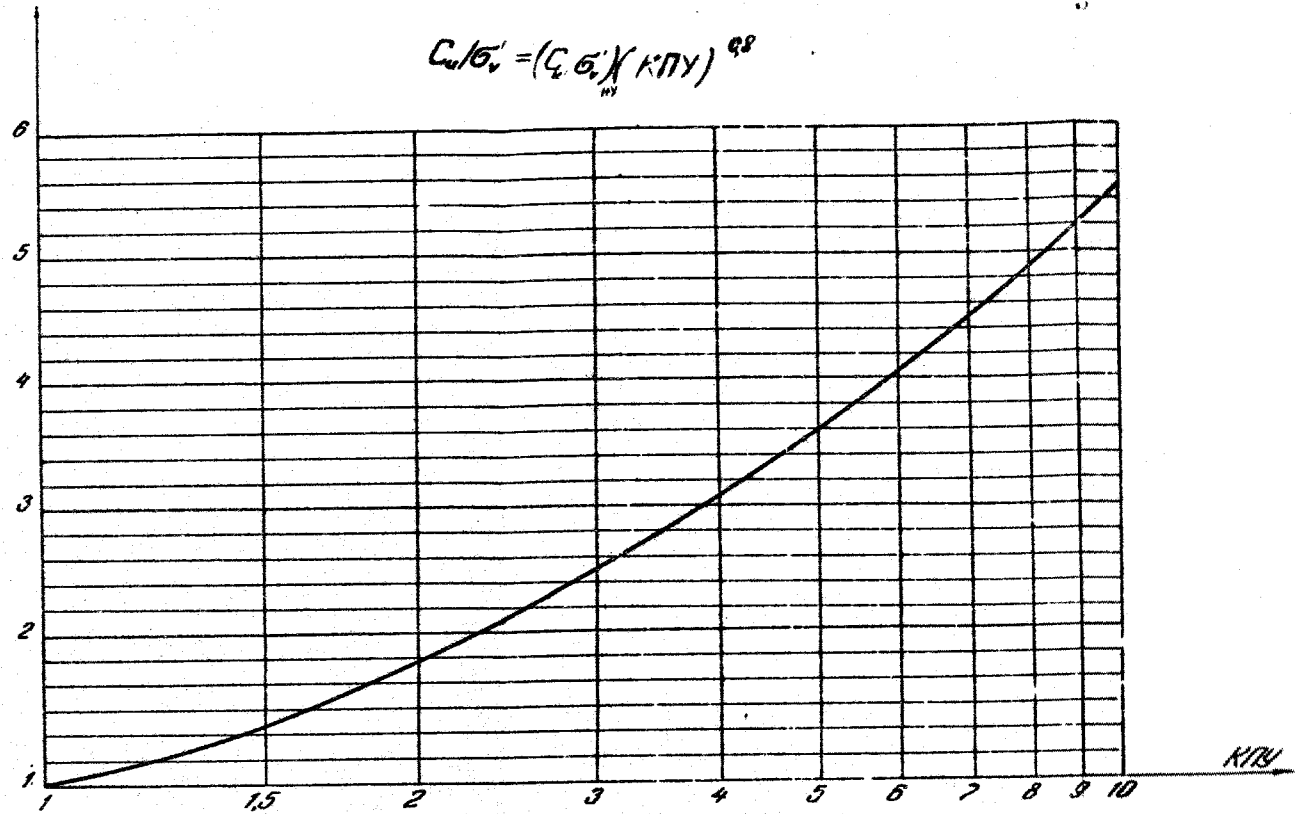


Рис. П.8.2. Определение коэффициента переуплотнения ( $K_{\text{ПВ}}$ )

Определение коэффициента пропорциональности  $N_k$ 

I. Указанные в п.7.7 рекомендаций значения  $N_k$  используются в том случае, если отсутствует возможность его более точного определения с помощью другого метода испытания грунтов в условиях естественного залегания. На практике для этих целей используется установка вращательного среза (крыльчатка).

Более точное определение  $N_k$  выполняется следующим образом.

I.1. В одной или нескольких точках скважины определяется сопротивление вращательному срезу  $\tau_{кр}$  при помощи скважинной установки вращательного среза.

I.2. Полученное значение  $\tau_{кр}$  используется для определения расчетного значения  $c_u$  по формуле

$$c_u = \tau_{кр} \cdot m,$$

где  $\tau_{кр}$  — сопротивление вращательному срезу, полученное на основе испытаний крыльчаткой в условиях естественного залегания;

$c_u$  — расчетное значение сопротивления надренному сдвигу;

$m$  — поправка Бьеррума, определяемая по графику рис. П.9.1 для значений числа пластичности  $I_p$ , полученных в лабораторных испытаниях образца (приложение I).

I.3. Определяется коэффициент пропорциональности по следующим выражениям:

1) для донных установок СЗ

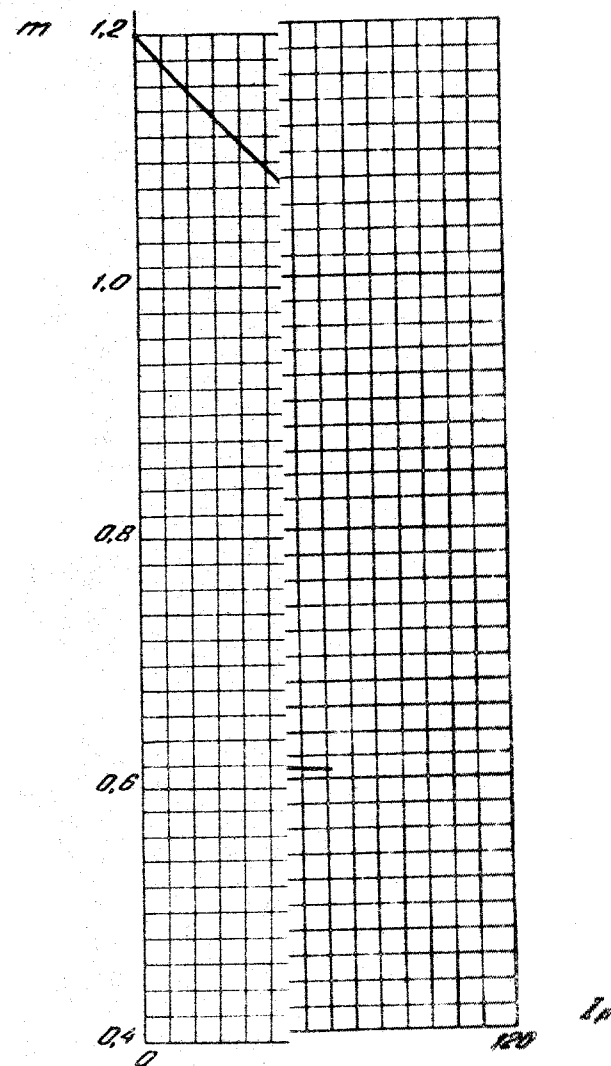
$$N_k = \frac{q - c_u}{c_u}$$

2) для скважинных установок СЗ

$$N_k = \frac{q - 0,7 \gamma_s h - \gamma_s (h_1 - h_2)}{c_u},$$

где  $q$  — значение, зарегистрированное для сжатия, в котором проводились испытания крыльчаткой;

- $h_z$  - глубина зондирования, м;  
 $h_s$  - глубина скважины, м;  
 $\rho_r, \rho_0$  - уд. вес грунта во взвешенном состоянии, уд. вес воды, т/м<sup>3</sup>.



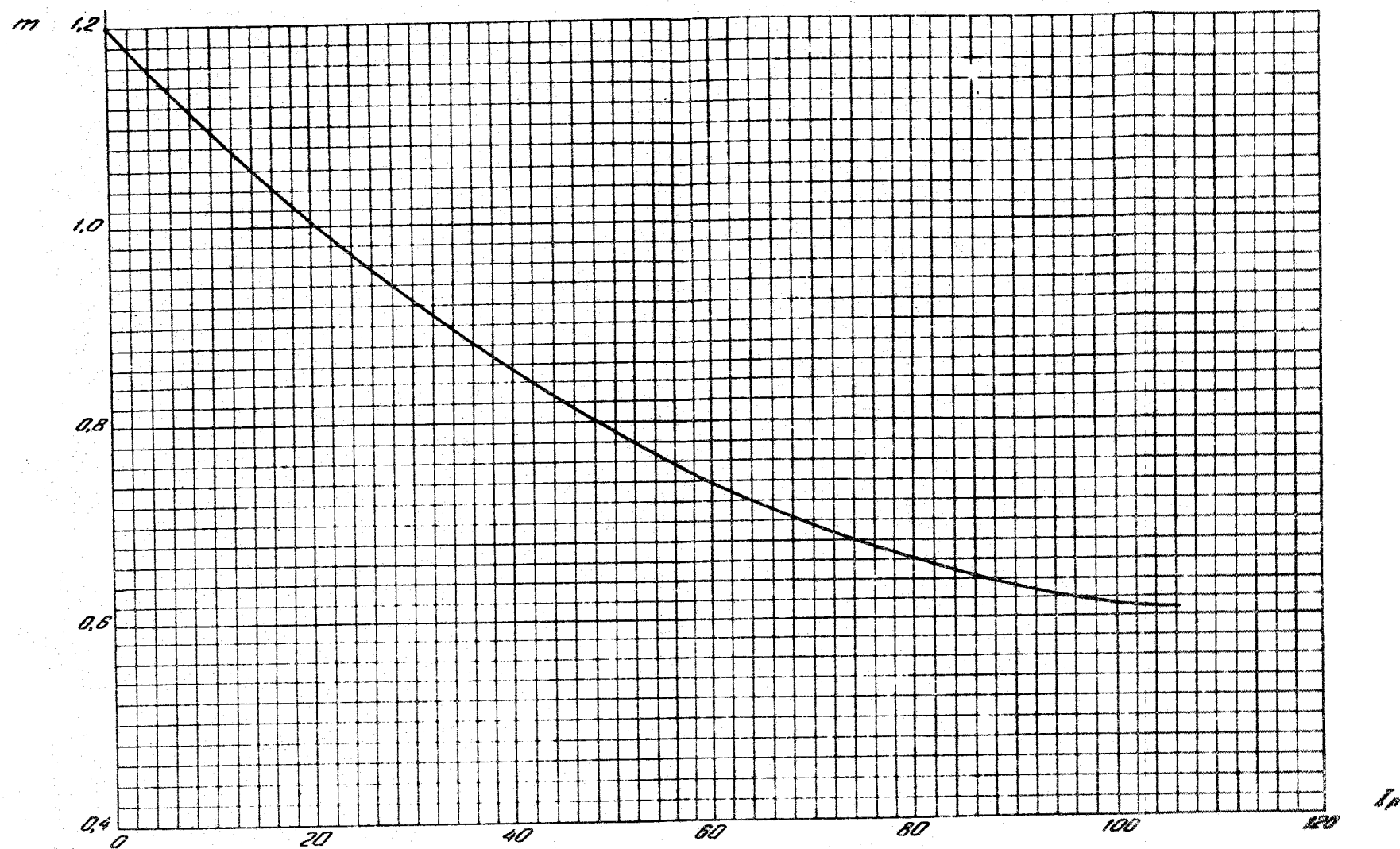


Рис. II.9.1. Поправка Бьеррума

Определение прочностных характеристик для пылеватых и глинистых грунтов в дренированном состоянии по данным статического зондирования с измерением порового давления

I. Прочностные характеристики для пылевато-глинистых грунтов в дренированном состоянии определяются по рекомендации НГИ по данным статического зондирования с измерением порового давления. В соответствии с принятой в НГИ [21, 25] методикой определяются угол внутреннего трения  $\varphi$  и постоянная сцепления  $\alpha'$ . В методе выражение для сопротивления сдвигу принимается в следующем виде:

$$\tau = (\alpha' + \sigma_v') \operatorname{tg} \varphi$$

I.1. Постоянная сцепления  $\alpha' = c / \operatorname{tg} \varphi$  ( $c$  — сцепление) определяется по графику  $q(h)$ , если этот график отражает линейное увеличение значения  $q$  вместе с глубиной зондирования (см. рис. П.10.1).

В противном случае НГИ рекомендует принимать значение в зависимости от типа грунта по таблице.

Таблица

| Консистенция пылеватых и глинистых грунтов | $\alpha'$ , кПа |
|--------------------------------------------|-----------------|
| Мягкопластичные                            | 5-10            |
| Тугопластичные                             | 10-20           |
| Твердые                                    | 50-100          |

I.2. Далее определяется коэффициент порового давления

$$B_q = \frac{u - u_c}{q_n - \sigma_v'}$$

где  $u$  — суммарное поровое давление, МПа;

$u_c$  — гидростатическое давление, МПа;

$q_n$  — скорректированное по поровому давлению значение (прил. 7);

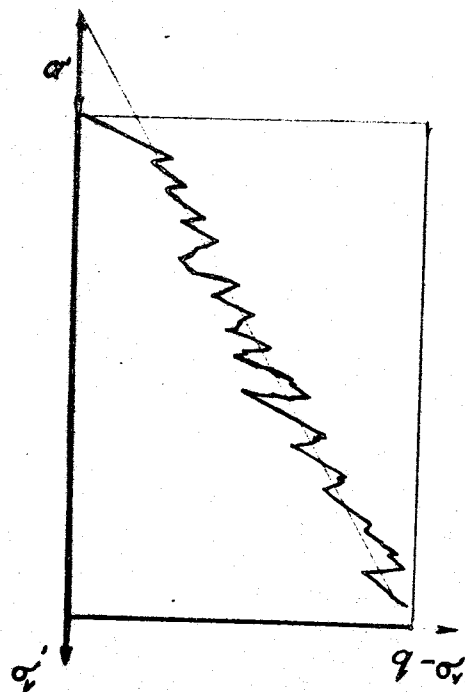


Рис. П.10.1. Определение постоянной сцепления  $c'$

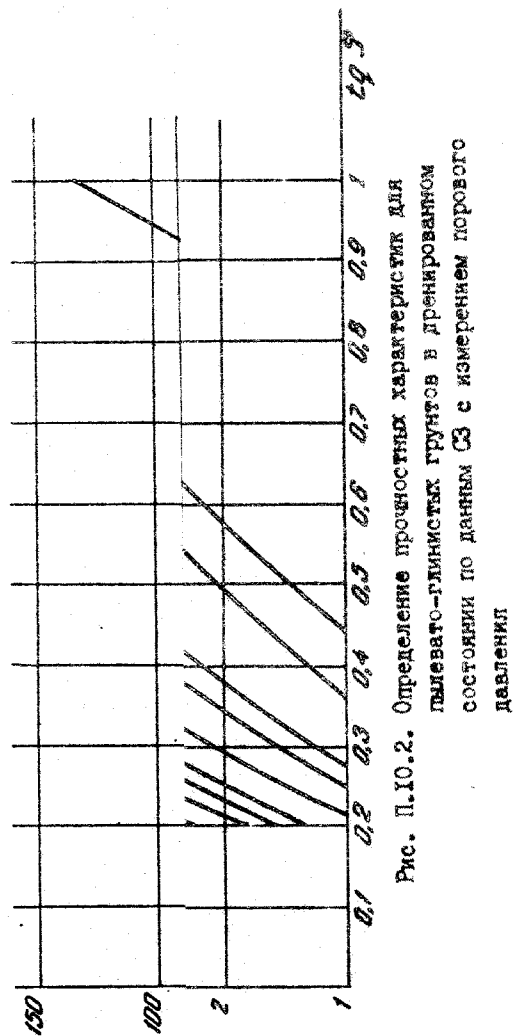
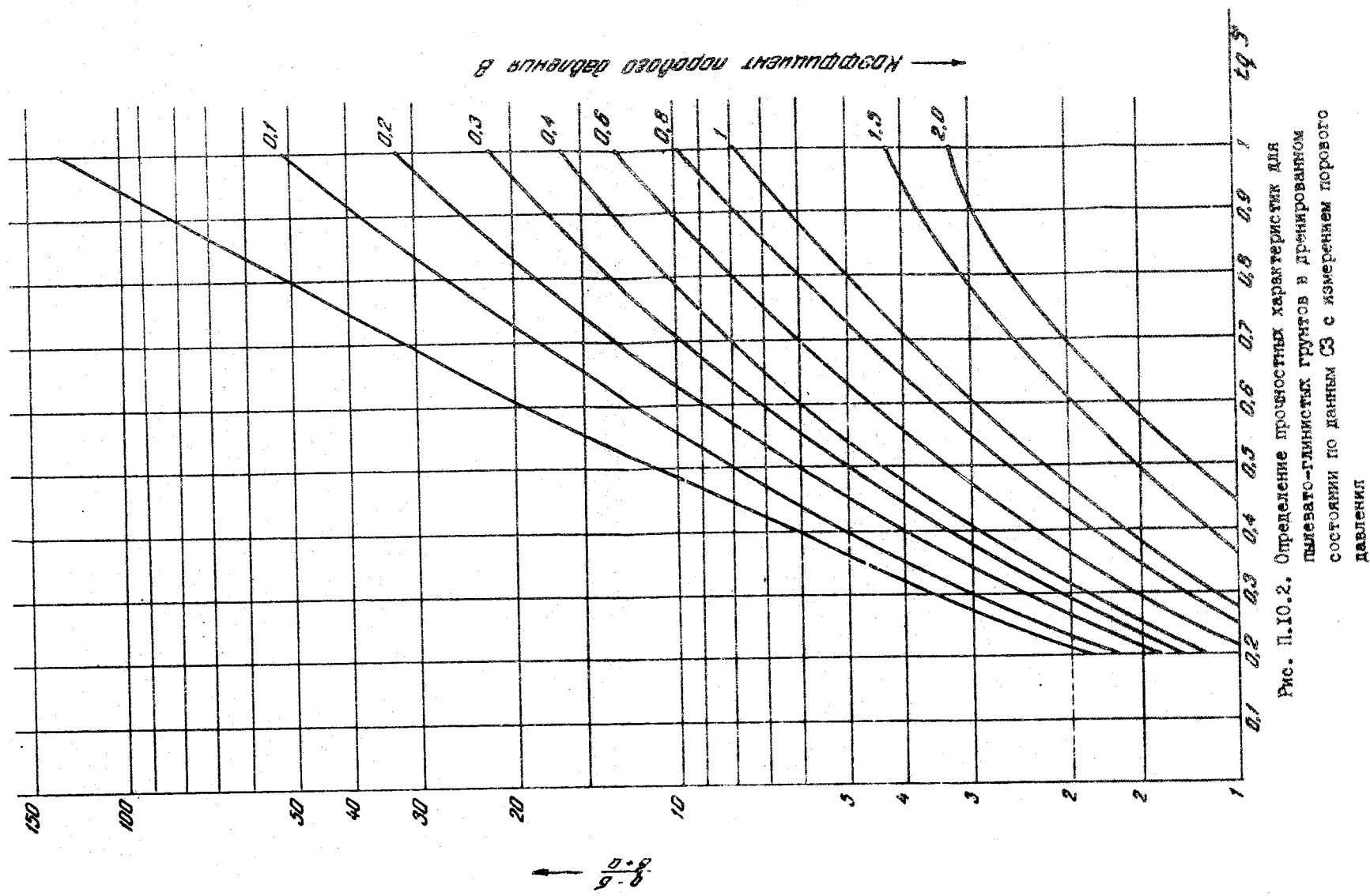


Рис. П.10.2. Определение прочностных характеристик для пылеватых-глинистых грунтов в дренированном состоянии по данным СЗ с измерением порового давления



$\sigma_v$  - полное природное давление (вертикальная нагрузка).

1.3. Затем определяется коэффициент сопротивления конуса:

$$N = \frac{q_n - \sigma_v}{\sigma_v - \sigma_v'}$$

где  $\sigma_v'$  - эффективная вертикальная нагрузка, МПа.

По коэффициентам  $N$  и  $B_q$  на основе номограммы рис. П.10.2 определяется  $\varphi$ .

1. ГОСТ 20069-81. Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием.
2. ISSMFE 1977. Report of the Subcommittee on standardization of penetration testing in Europe Proc. 9th ISSMFE, Tokyo, vol. 3, p. 95-152.
3. СНиП I.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства.
4. Мармупольский Л.Г., Окунцов Е.И. Об интерпретации результатов статического зондирования на континентальном шельфе. Сб. трудов ВНИОСП "Усиление оснований и фундаментов при реконструкции" № 90, М. 1988.
5. ВСН 51.2-84/Мингазпром. Инженерные изыскания на континентальном шельфе.
6. Scheep L. et al Mechanical and electrical aspects of the electric cone penetrometer. ESOPT II, Amsterdam, 1982.
7. de Ruiter J. The static cone penetration test state - of - the - art - report. ESOPT II, Amsterdam, 1982.
8. РСН 23-85/Госстрой СССР. Статическое зондирование и пенетрационный каротаж грунтов в условиях СССР.
9. v.d.Zwaag et al. A comparison of downhole and seabed cone penetration tests for offshore foundation studies. ESOPT II, Amsterdam, 1982.
10. Fugro "Operational manual" Seacalf (фирм.проспект).
11. Fugro "Operational manual" Wison (фирм.проспект).
12. Дж.Тьрки. Анализ результатов наблюдений. М.: Мир, 1981.
13. ГОСТ 20522-75. Грунты. Метод статистической обработки результатов определения характеристик.
14. Грязнов Т.А. и др. Методические рекомендации по применению пенетрационного каротажа, обработке и интерпретации результатов. М.: ВСЕГИНГЕО, 1980.
15. Larry J. Marr et al. Offshore Geotechnical investigation using cone penetrometer. OTC, 4928, Houston, 1982.

16. Lunne T. et al. Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands. OTC, 4464, Houston, 1983.
17. Robertson et al. Interpretation of CPT data. Canadian Geotechnical J., 1983, N4.
18. Трофименков Ю.Г. и др. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981.
19. Mitchell J.K. et al. Cone resistance at measure of sands strength. ASCE, 1978, July.
20. Lunne et al. Role of CPT in North Sea Foundation Engineering. NGI Publication N139, Oslo, 1982.
21. Senset et al. Strength and deformation parameters from cone penetration tests. ESOPT II, Amsterdam, 1982.
22. Гери М. Толковый словарь английских геологических терминов. М.: Мир, 1977.
23. Сомервил С. и др. Словарь по геотехнике. М.: Недра, 1986.
24. Tirant P. Seabed reconnaissance and offshore soil mechanics for the installation of Petroleum structures. Edition technip, 27, Paris, 1976.
25. Aas G. et al. Use of in situ tests in Foundation design on clay. NGI Publication N166, Oslo, 1986.
26. J.M. Keaveny et al. Strength of fine-grained soils using the piezocone. NGI Publication N171, Oslo, 1988.
27. T. Lunne et al. Laboratory and field evaluation of cone penetrometers. NGI Publication N171, Oslo, 1988.