

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

С. Р. Месчан

Кольцевой прибор для изучения ползучести и
длительного сопротивления сдвигу глинистых грунтов
методом кручения

На настоящем этапе развития механики грунтов большое значение имеют лабораторные исследования деформативных свойств глинистых грунтов при сдвиге с учетом фактора времени. Поэтому обращается особое внимание как на методику эксперимента, так и на приборы, предназначенные для указанной цели.

Для исследования закономерностей деформирования при сдвиге наибольшее распространение получили одноплоскостные срезные приборы [1, 6], а в отдельных лабораториях — приборы скашивания и кручения [2, 3, 4, 5].

Срезные приборы, которые моделируют плоскую деформацию и предназначены для определения сопротивления грунтов сдвигу, обладают недостатками, которые сильно ограничивают их применяемость для исследования деформаций. Основным недостатком указанных приборов является то, что в них образец деформируется в условиях неопределенного напряженного состояния, в условиях неравномерного распределения касательных напряжений в плоскости среза, вследствие концентрации напряжений у краев образца [7]. К числу недостатков срезных приборов надо отнести также переменность площади среза, ограниченность деформации, непостоянство величины зазора между подвижным и неподвижными каретками, неполную передачу касательных напряжений на образец. Небольшая, и неопределенная по величине зона сдвига [7] не дает представления об объемных деформациях сдвига, делает невозможным определение относительной деформации сдвига.

Приборы скашивания, которые моделируют формоизменение образца под действием касательных напряжений и предназначены для исследования закономерностей деформаций грунта при сдвиге, встречаются со сплошными и разрезанными торцевыми стенками. Из указанных приборов лучшими являются те, торцевые стенки которых разрезаны [4]. В этих приборах [4] обеспечивается свобода деформирования, полная передача касательных напряжений на образец, определенное напряженное состояние образца и, наконец, возможность измерения деформации в зоне сдвига. Однако, эти приборы можно использовать только при малых деформациях.

Из всех существующих наиболее подходящими для изучения деформативных свойств при сдвиге являются приборы, в которых деформации сдвига определяются на образцах, подвергнутых кручению [8].

Основные достоинства приборов указанных типов заключаются в том, что: 1) деформация образца происходит в условиях определенного напряженного состояния; 2) во время эксперимента не меняется площадь сечения образца; 3) обеспечивается полная передача касательных напряжений на образец по его горизонтальным плоскостям; 4) возможно измерять деформации непосредственно в зоне сдвига; 5) деформации сдвига по величине практически неограничены.

Идея создания приборов испытания грунтов на сдвиг методом кручения впервые была использована Г. И. Покровским [9]. В дальнейшем подобного типа приборы получили широкое распространение в Германии [5], в Голландии и в Китае получили применение так называемые торсионные пластометры [8, 10], а в СССР — приборы кольцевого сдвига. Испытываемые в указанных приборах образцы обычно имеют форму цилиндра с площадью поперечного сечения от 50 до 100 см², высотой от 2 до 8 см.

Несмотря на то, что у нас в СССР приборы кручения имеют применение в лабораторной практике, однако, к сожалению, они в технической литературе не описаны. Учитывая изложенное, а также имея в виду большое достоинство приборов кручения, нашли необходимым описать прибор кольцевого сдвига НИС Гидропроекта (автор Я. Л. Коган, конструктор Цыплаков), который применяется в нашей лаборатории как для исследования деформативных свойств глинистых грунтов при сдвиге, так и для изучения вопроса о длительном сопротивлении грунтов сдвигу. В период двухлетней работы с приборами кольцевого сдвига они были нами несколько видоизменены. Как будет показано ниже, в результате указанного видоизменения приборы стали более универсальными.

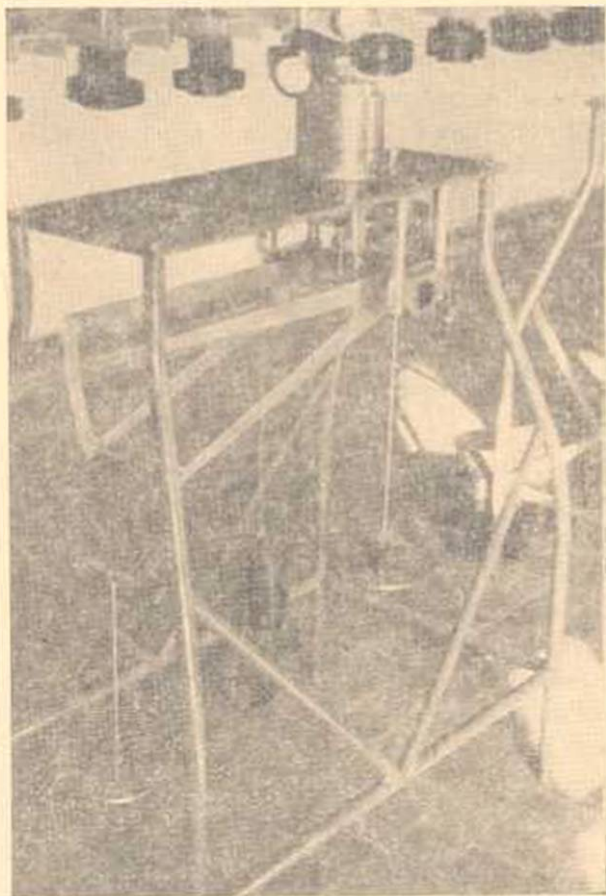
Прибор кольцевого сдвига НИС Гидропроекта (фиг. 1), который предназначен для испытания кольцевых образцов с площадью поперечного сечения 60,5 см² (с наружным диаметром 101 мм, внутренним — 50 мм) и высотой 24 мм, состоит из станины 01 (фиг. 2), головки 02, механизма кручения 03, механизма вертикальных (нормальных) нагрузок 04, кронштейна 05, держателя 06 и нониуса 07.

Головка, в которой осуществляется как предварительное уплотнение, так и сдвиг грунта, состоит из нижней неподвижной 1 и верхней подвижной 2 кольцевых обойм, в которых помещены рифленные дырчатые неподвижное 3 и подвижное 4 кольца. Кольцо 4 с тремя винтами 5 закреплено к трем ножкам опоры 6, проходящим через выдолбленные в крышке верхней обоймы отверстия. Кольцо 4 вместе с опорой 6 перемещается только по вертикали, а шпильки 7 не дают нижнему кольцу возможности крутиться. Вертикальная (нормальная) нагрузка от механизма сжатия 04 при помощи троса 8, втулки 9 и гайки 10 через опору 6 и кольцо 4 передается на образец грунта, помещенный между двумя кольцами 3 и 4.

Для подачи воды в нижнюю обойму она снабжена штуцером 11 и воронкой 12. Подача воды производится также через отверстия 13, просвер-

ленные в крышке обоймы 2. В днище нижней обоймы просверлены три отверстия, заглушенные винтами 14, предназначенными для выталкивания кольца 3 из своего гнезда.

Сдвиг образца осуществляется кручением верхней обоймы при помощи шпинделя 17 механизма кручения 03 и кольца 18, закрепленного к



Фиг. 1

обойме винтами 19. Кольцо 18 имеет прорезы, которыми захватывается головка шпинделя. Неподвижность нижней обоймы обеспечивается двумя шпильками 16 направляющей 15 механизма кручения, которые входят в просверленные в днище отверстия.

Измерение деформации сжатия образца выполняется индикатором 20, а деформации сдвига индикатором 21. Деформация сдвига измеряется также коннусом 07, шкала которого 22 помещена на опоре 6. На шкале коннуса закреплена пластина, куда упирается ножка индикатора 21.

Механизм вертикальной (нормальной) нагрузки 04 представляет собой секторный рычаг с соотношением плеч 1:20, состоящий из двух дисков 24 и опорной оси 25, подвешенной к столу 01 двумя парами колонок 26 с помощью опорных планок 27 и гаек 28. Рычаг уравнивается за-

крепленными между двумя дисками винтами 29 противовесом 30. Ось 25 опирается на опорные планки через шарикоподшипники 31. Диски 24 соединены между собой распорками 32.

Вертикальная нагрузка 53, увеличенная в 20 раз по отношению к грузу, помещенному на поддоне 33 (подвешенном к рычагу тросами 34, тягой 35 поперечной 36), передается на образец при помощи троса 8, закрепленного к оси 25 и перекинутого через ее канавку.

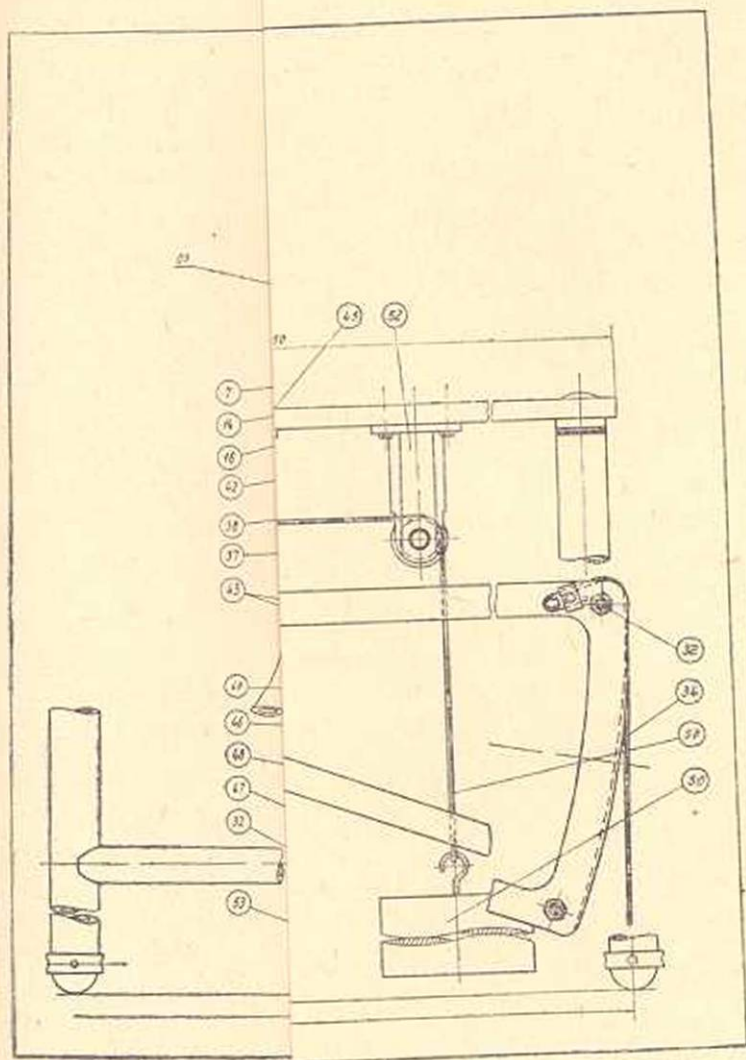
Механизм кручения 03 состоит из закрепленных к столу 01 винтами 54 направляющей 15, шпинделя 17 и насаженного на хвосте шпинделя (закрепленного гайкой 37) диска 38. Шпиндель через опорный подшипник 39, помещенный в стакане 40, опирается на гайку 41. Гайка 41 с помощью ручки 42 поднимает и опускает шпиндель и тем самым создает зазор между обоймами 1 и 2. Максимальная величина зазора — 5 мм, точность измерения — 0,01 мм.

Кручение шпинделя осуществляется при помощи диска 38. Крутящий момент создается парой тяг 43, помещенных в канавках диска 38, перекинутых через ролики 44 кронштейнов 45 и закрепленных на балке 46. К балке 46 подвешен грузовой поддон 47 с помощью стержня 48 и шаровой опоры 49.

Механизм кручения уравнивается противовесом 50 с помощью троса 51, перекинутого через ролик кронштейна 52 и закрепленного в канавке диска 38.

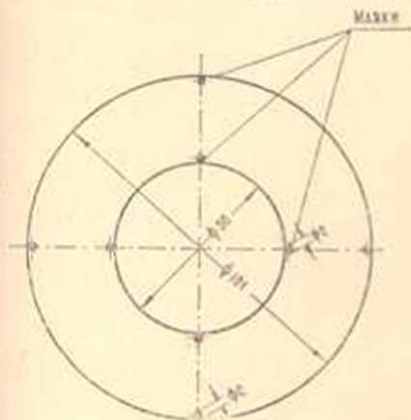
В целях выяснения характера деформации было изучено распределение деформации по высоте образца при помощи грунтовых и пластилиновых маяков. Предварительное изучение указанного вопроса было выполнено на суглинке [11] при величине нормальной нагрузки $P=2 \text{ кг/см}^2$. Более подробно этот вопрос был рассмотрен при испытании разданской и новошвейцарской глин. Разданская глина (Армянская ССР) была испытана при двух значениях нормальной нагрузки $P=0,25$ и $2,0 \text{ кг/см}^2$, а новошвейцарская (Украинская ССР) при $P=1,0 \text{ кг/см}^2$. Для изучения изменения формы маяков испытывались по 4—6 образцов при различных значениях величины деформации. План расположения маяков приведен на фиг. 3. На фиг. 4 приведена фотография а) формоизменения пластилиновых маяков четырех образцов разданской глины, испытанных при $P=2 \text{ кг/см}^2$, б) двух образцов того же грунта, испытанных при $P=0,25 \text{ кг/см}^2$, в) образцов новошвейцарской глины, испытанных при $P=1,0 \text{ кг/см}^2$.

Как показывают эксперименты, образцы деформируются почти по всей высоте, причем до определенных значений касательных напряжений деформация практически имеет линейный характер. В частности, при испытании образцов разданской глины, уплотненных нагрузками $P=2 \text{ кг/см}^2$, линейный характер деформации сохраняется до величины $\Delta S=1,6 \text{ мм}$ (второй образец снизу), что же касается остальных случаев, то указанная деформация ограничивалась величиною $\Delta S=0,7 \text{ мм}$ (нижние образцы на фиг. 4б и 4в). Из указанных фотографий также следует, что после

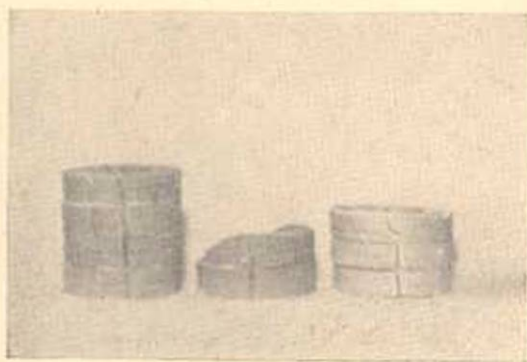


превышения деформации (напряжения) некоторого предельного значения появляется плоскость среза.

Кольцевой прибор «Гидропроекта» может быть использован как для определения деформации, так и сопротивления грунтов сдвигу. Учитывая, что сопротивление грунта сдвигу зависит от высоты зоны сдвига (в данном



Фиг. 3.



Фиг. 4.

случае высота зоны сдвига равна высоте образца), на указанном приборе можно испытывать образцы высотой от 5—6 до 24 мм.

Величина сопротивления сдвигу определяется по известному выражению теории сопротивления материалов [12]

$$q_{кр} = \frac{3M_{кр}^*}{2\pi(r_2^3 - r_1^3)}$$

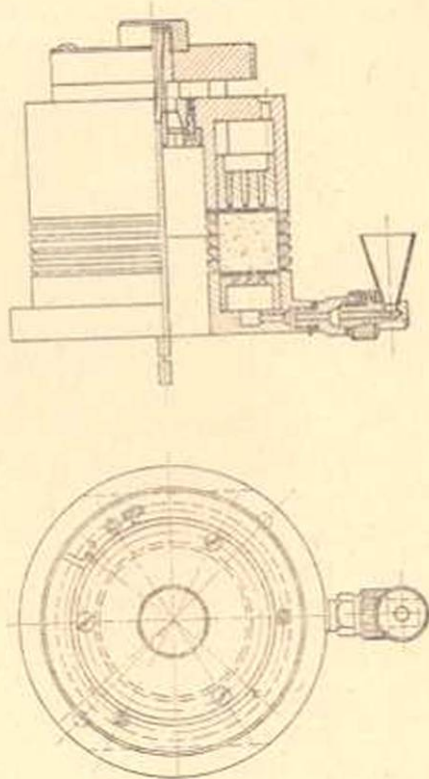
где $M_{кр}$ — крутящий момент, r_2 и r_1 — наружный и внутренний радиусы образца.

Необходимо отметить, что ввиду равномерного распределения касательных напряжений в плоскости среза при предельном напряженном состоянии [12], постоянства величины зоны сдвига, а также неограниченности деформации и неизменяемости площади поперечного сечения образца, приборы кольцевого сдвига являются лучшими из всех существующих приборов, предназначенных для изучения длительного сопротивления грунтов сдвигу.

Несмотря на достоинства прибора кольцевого сдвига Гидропроекта, он обладает также недостатком, который в ряде случаев может несколько исказить результаты определения закономерностей деформации и сопротивления грунтов сдвигу. Этим недостатком является наличие трения [8] между боковыми поверхностями образца и стенками нижней и верхней обойм. Чтобы устранить указанный недостаток, прибор нами был несколько переделан (фиг. 5). Переделка заключается в том, что боковые стенки прибора, соприкасающиеся с образцами, заменены наборами колец из органического стекла, перемещающихся друг относительно друга доста-

* В этой формуле в статье [11], по вине автора, допущена опечатка.

точно свободно. В целях уменьшения трения, кольца соприкасаются друг с другом через тонкую прослойку смазочного масла. С этой же целью уменьшена площадь их соприкосновения (фиг. 5).



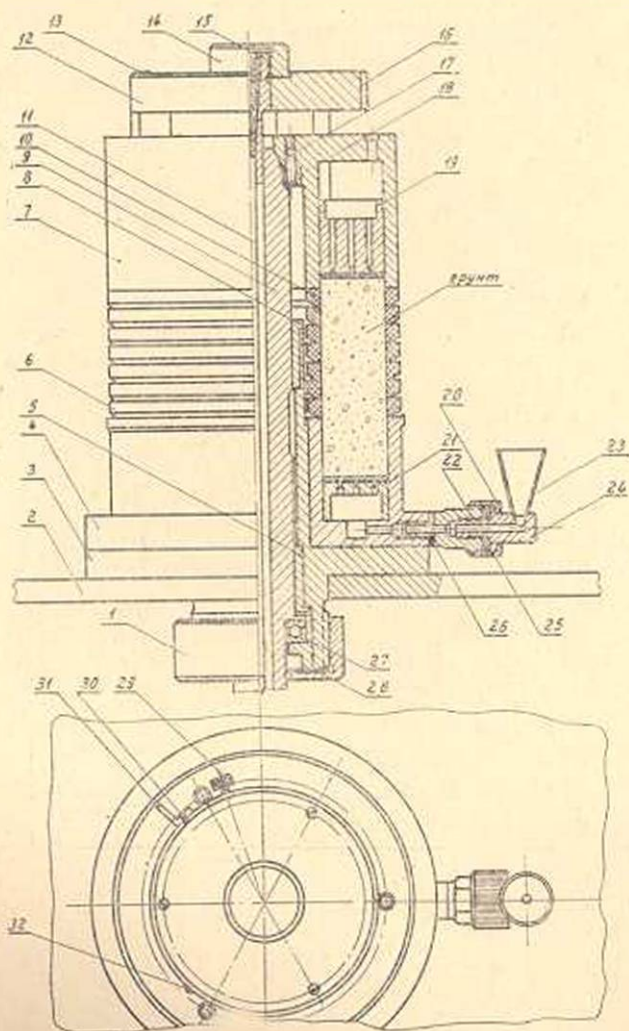
Фиг. 5.

Для защиты от испарения влаги с боковых поверхностей образца, промежутки между подвижными кольцами заполняются техническим вазелином, или же осуществляется боковое окружение образца водой.

Следует отметить, что высота образца не ограничивается размером 24 мм, ее можно значительно увеличить. Это будет очень нетрудно сделать, если иметь набор шпинделей разной длины, а также набор наружных и внутренних колец. На фиг. 6 и 7 приведены чертежи, а на фиг. 8 показана фотография прибора с образцом высотой 80 мм. Преимуществом испытания высоких образцов является то, что исключается влияние способа приложения касательных напряжений на деформацию сдвига, которая измеряется в середине образца на некоторой заданной базе (от 20 до 30 мм).

На фотографии (фиг. 9) показано взаимное передвигание окружающих грунт наружных колец, которое характеризует деформирование образца высотой 80 мм. Испытание образца выполнялось по схеме, приведенной на чертеже (фиг. 6).

Наконец, для изучения деформативных свойств при чистом сдвиге в условиях равномерного распределения касательных напряжений, взамен трапецидальной эпюры распределения касательных напряжений в толстых образцах, можно воспользоваться тонкими образцами. При такой схеме испытания мы приходим к конструкции торсионного пластометра Геза и Тан Тьенг-ки [8], которым они широко пользовались при изучении реологических свойств глин.

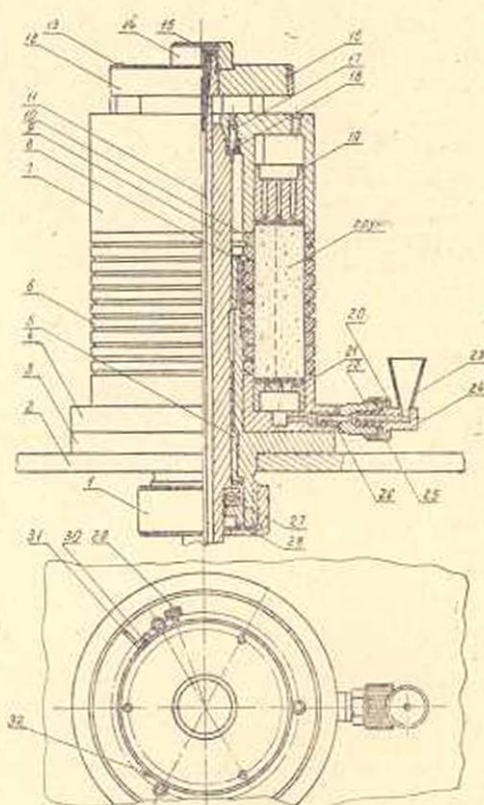


Фиг. 6.

Гёз и Тан Тьенг-ки [8] при изучении реологических свойств глин на торсионных пластометрах пользовались полными цилиндрическими образцами с наружным диаметром 3,8 см и внутренним диаметром 2,6 см (толщина стенки 0,6) при высоте образца 8 см, т. е. при соотношении толщины d к наружному диаметру D —1:6. Аналогичное соотношение между толщиной стенок и наружным диаметром использовано К. Ф. Войт-

ковским [13] при испытании полных цилиндрических образцов льда на кручение и сжатие. Исходя из изложенного, мы полагаем, что такое же соотношение можно использовать и при изучении тонких образцов на рассматриваемом здесь приборе, и поэтому рекомендуем величину толщины образца $1,4 \text{ см}$ ($\frac{d}{D} = 1:7$).

Таким образом, прибор Гидропроекта, с небольшими переделками, может быть использован как для изучения длительного сопротивления грунтов сдвигу, так и для изучения закономерностей деформации ползучести при сдвиге в условиях сложного напряженного состояния и чистого сдвига.



Фиг. 7.

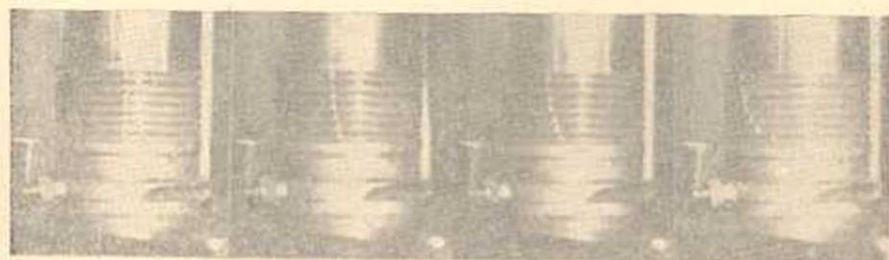
Тарировка механизмов вертикальной (нормальной) нагрузки и кручения выполняется образцовыми динамометрами (ДС-02 и ДС-05) при помощи специальных тарировочных приспособлений.

Тарировка механизма вертикальных (нормальных) нагрузок осуществляется приспособлением (фиг. 10), которое устанавливается на направляющей механизма кручения и служит опорой для динамометра. Для передачи вертикальной нагрузки от рычага к динамометру используется

рамная подвеска. Нижняя балочка подвески захватывает втулку 9 троса 8 при помощи гайки 10 (фиг. 2), а верхняя балочка с помощью регулировочного болта и стального шарика опирается на динамометр.



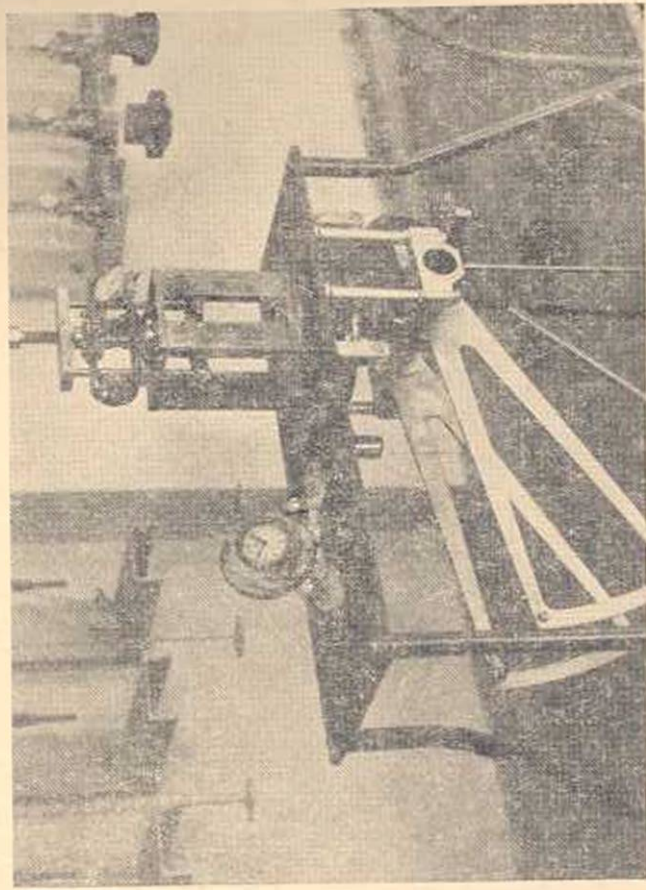
Фиг. 8.



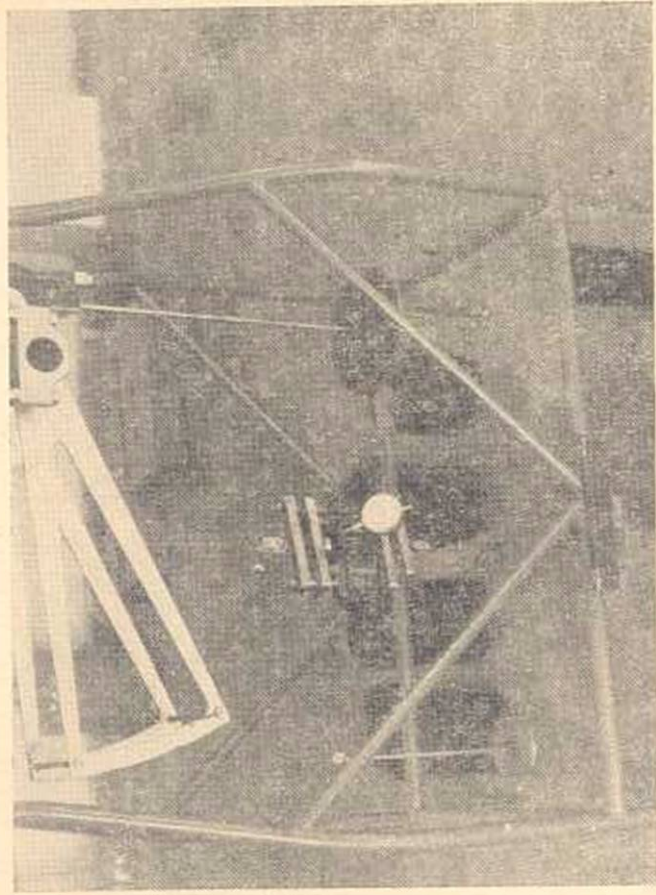
Фиг. 9.

Тарировка механизма кручения выполняется при помощи реверсивного устройства (фиг. 11), которое подвешивается на тросе 51 вместо противовеса 50 (фиг. 2) указанного механизма и закрепляется на балке, смонтированной на раме прибора.

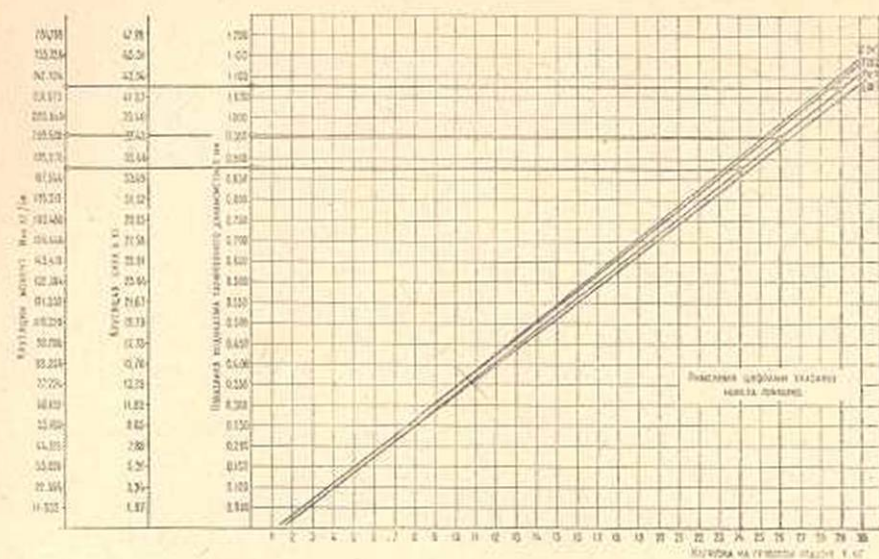
На графике (фиг. 12) приведены тарировочные кривые четырех приборов. Величина крутящего момента определяется по весу гирь, положен-



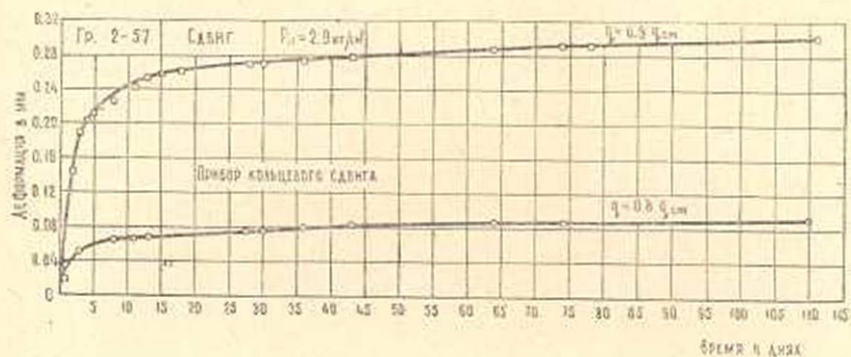
Фиг. 10.



Фиг. 11.



Фиг. 12.



ных на грузовой поддон 47 (фиг. 2) при помощи тарировочных кривых, как это показано на фиг. 12.

Для примера на графике (фиг. 13) приведены кривые деформации ползучести при сдвиге образцов-близнецов суглинки, испытанных при двух значениях касательных напряжений $q=0,8 q_{пр}$ и $q=0,9 q_{пр}$ ($q_{пр}=0,77 \text{ кг/см}^2$ — стандартное сопротивление сдвигу), а на фиг. 14 — график изменяемости сопротивления образцов сдвигу в зависимости от длительности испытания, построенный по результатам испытания образцов на приборах кольцевого сдвига при высоте образца 22 мм. Величина предварительно уплотняющей нагрузки $P = 2 \text{ кг/см}^2$.

При изучении вопроса изменяемости сопротивления сдвигу образцов-близнецов в зависимости от продолжительности испытания воспользовались методикой равномерного увеличения касательных напряжений ступенями постоянной величины через различные интервалы времени. Величина ступени касательного напряжения и крутящего момента были равны $q = 0,08 \text{ кг/см}^2$, $M_{кр} = 20 \text{ кг. см}$ (с учетом поправки на тарировку $q = 0,07 \text{ кг/см}^2$, $M_{кр} = 18 \text{ кг. см}$).

Были испытаны восемь образцов при четырех режимах загрузки. Интервалы приложения нагрузок были равны 5 сек., 1 мин и 12 часам. Кроме того, пара образцов была испытана по стандартной методике, т. е. последующая ступень нагрузки прикладывалась к образцу после условного затухания деформации сдвига. За условную стабилизацию деформации сдвига принималась скорость сдвига, равная 0,01 мм/мин.

Как видно из графика (фиг. 14), в начальном участке кривой, т. е. при небольших продолжительностях испытания, имеет место уменьшение сопротивления грунта сдвигу, однако, в дальнейшем какое-либо изменение его величины не наблюдается. Нетрудно заметить, что указанные изменения величины сопротивления грунта сдвигу имеют место в интервале времени, меньшем длительности испытания по стандартной методике.

Полученные результаты еще раз подтверждают полученные нами ранее результаты [11, 14] и приводят к заключению, что стандартное сопротивление сдвигу грунтов нарушенной структуры соответствует их длительному сопротивлению сдвигу.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 18 VI 1962

Ա. Ռ. ՄԵՍՉՅԱՆ

ՕՂԱԿԱՅԻՆ ՍԱՐԲ՝ ՈԼՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ԿԱԿԱՅԻՆ ՇԻՆԱՀՈՂԵՐԻ ՍՈՂՔԻ ԵՎ ՍԱՀՔԻՆ ՑՈՒՅՑ ՏՐՎՈՂ ԴԻՍԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա. Մ. Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում բերված են ուղորման կզանակով շինահողերի սողքի և սահ-
քին ցույց տրվող հարստի գիմադրության ուսումնասիրության համար
«Հիդրոնալոգի» ինստիտուտի գիտահետազոտական բաժնի կողմից սահղծ-

ված օղակային սարքի, ինչպես նաև հեղինակի կողմից կատարված նրա ձևավորման նկարագրությունները: Բերված են նաև սարքի փորձարկման և ստուգման արդյունքները:

Հոդվածում, որպես նմուշ, դետեղված են այդ սարքի վրա կատարված կավային շինանոցերի սողերի և սահքին ցույց տրվող հարատև դիմադրության ուսումնասիրության արդյունքները: Ցույց է տրված, որ սահքին ցույց տրվող հարատև դիմադրության ուսումնասիրության արդյունքները հաստատում են հիդրենակի կողմից (ուրիշ սարքերի վրա) նախկինում կատարված ուսումնասիրություններից ստացված արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов. Машиностроиздат, М., 1949.
2. Roscoe K. H. and Meek A. M. An apparatus for the application of simple shear to soil samples. Proc. 3-rd Int. Conf. Soil Mech. I, p. 186, 1953.
3. Murayama S. and Hata S. On the effect of remoulding clay. Proc. 4-th Int. Conf. Soil Mech. I, p. 80, 1957.
4. Сотников С. Н. Закономерности развития деформации ползучести глинистых грунтов при сдвиге. Научное сообщение ЛИСИ, Л., 1960.
5. Соколов С. С. и Чуринов М. В. О зарубежной критике исследований сопротивления глинистых грунтов сдвигу. Разведка и охрана недр. Гостеолиздат, № 7, 1959.
6. Коган Я. Л. Установка для испытаний грунтов на сдвиг. Техническое сообщение № 6, НИС „Гидропроект“, 1959.
7. Костерин Э. В. О методике определения сопротивления сдвигу глинистых грунтов. Гидротехническое ст-во, № 7, 1957.
8. Geuze E. C. W. A. and Tan Tjong-Kie. The mechanical behaviour of clays. Proc. 2-nd Int. Congress on Rheology, Oxford, 1953.
9. Покровский Г. И., Эрлих А. А., Булычев В. Г. Исследование внутреннего трения в песках и глинах. Вестник ВИА РККА, № 6, 1934.
10. Tan Tjong-Kie. Structure mechanics of clays. Scientia Sinica, v. VIII, № 1, 1959.
11. Месчян С. Р. К вопросу о длительном сопротивлении глинистых грунтов сдвигу. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 15, № 2, 1962.
12. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Гостехиздат, М.—Л., 1939.
13. Войтковский К. Ф. Скорость пластической деформации поликристаллического льда. Известия Сибирского отд. АН СССР, № 4, 1959.
14. Месчян С. Р. О влиянии длительности испытания на сопротивление грунтов сдвигу. ДАН АрмССР, 32, № 1, 1961.