

Ю. А. Соболевский, В. А. Рыжков

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМАЦИЙ АНИЗОТРОПНЫХ ПО ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ БЫСТРОЗАГРУЖАЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВАНИЙ

В природном сложении грунтовые основания в большинстве своем обладают анизотропией, обусловленной процессами седиментации — накопления осадков частиц. И если механической анизотропией можно пренебречь в виду малого соотношения модулей деформации и коэффициентов бокового расширения грунтов в разных направлениях, то фильтрационную анизотропию следует обязательно учитывать при рассмотрении устойчивости фильтрующих откосов и быстрозагружаемых водонасыщенных оснований.

Показателем фильтрационной анизотропности может служить отношение коэффициентов фильтрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях (чаще всего по горизонтали и по вертикали)

$$\alpha = \frac{k_x}{k_y}. \quad (1)$$

Для торфа этот показатель может иметь порядок от  $i \cdot 10^1$  до  $i \cdot 10^2$ , для ленточных глин от  $i \cdot 10^2$  до  $i \cdot 10^4$ , для лессовидных грунтов и лесса от  $i \cdot 10^{-1}$  до  $i \cdot 10^{-5}$  (где  $i$  — любое число от 1 до 10).

Быстрое загрузеие водонасыщенных оснований (при  $k_x > k_y$ ), особенно слабых, может привести к значительным деформациям, причиной которых являются фильтрационные силы неустановившегося грунтового потока.

Так, дорожные насыпи на торфяном или илистом основании расползаются вследствие выжимания грунтов, а по оси насыпи часто появляются трещины.

Освоение торфяных массивов под застройку методом пригрузки слабой толщи сопровождается как уплотнением, так и большими горизонтальными деформациями по всему фронту гидронамыва или насыпки. При намыве песчаного слоя в Архангельске наблюдались значительные подвижки: трубопровод  $d=540$  мм, находящийся на расстоянии 40—50 м от кромки песчаного пригрузочного слоя, был сдвинут на 2,5—3,0 м на протяжении 130 м. Столбы линий электропередач на этом участке были перемещены на 6—8 м от створа, некоторые из них были опрокинуты [1].

Согласно полученным ранее аналитическим решениям о распределении начальных напряжений при быстром загрузеии анизотропных по водопроницаемости оснований [2] было установлено, что при преобладании горизонтальной водопроницаемости над вертикальной ( $k_x > k_y$ ) максимальные касательные напряжения  $\tau_{\max}$  охватывают значительные зоны за пределами загрузки, а если  $k_x < k_y$ , то зоны максимальных касательных напряжений вытянуты в глубь массива.

На рис. 1 представлены графики линий равных начальных напряжений  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{\max}$  и  $\sigma_y = -\sigma_x$ . Их сравнение указывает на большие

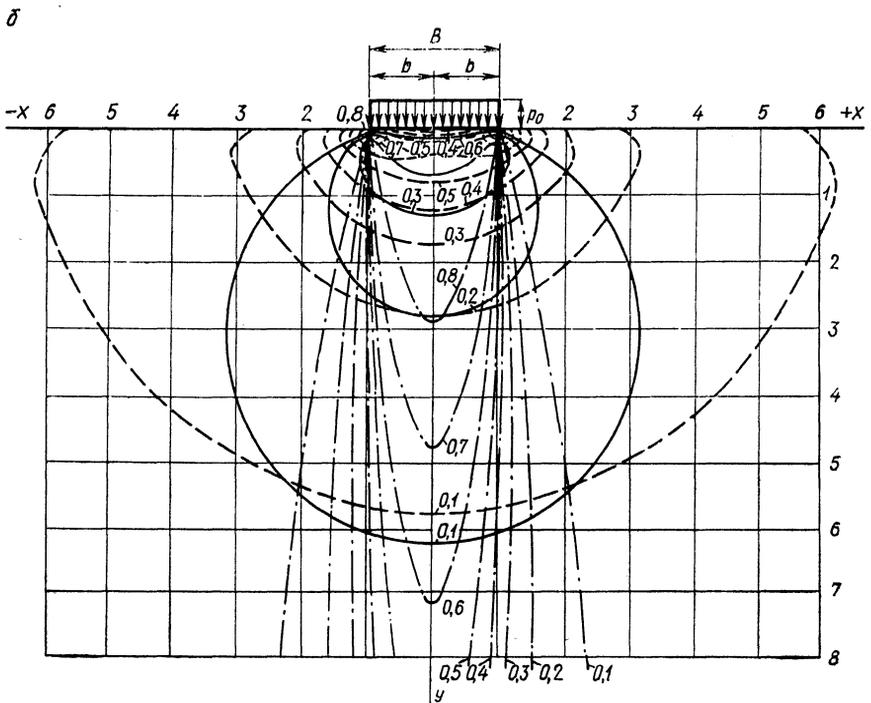
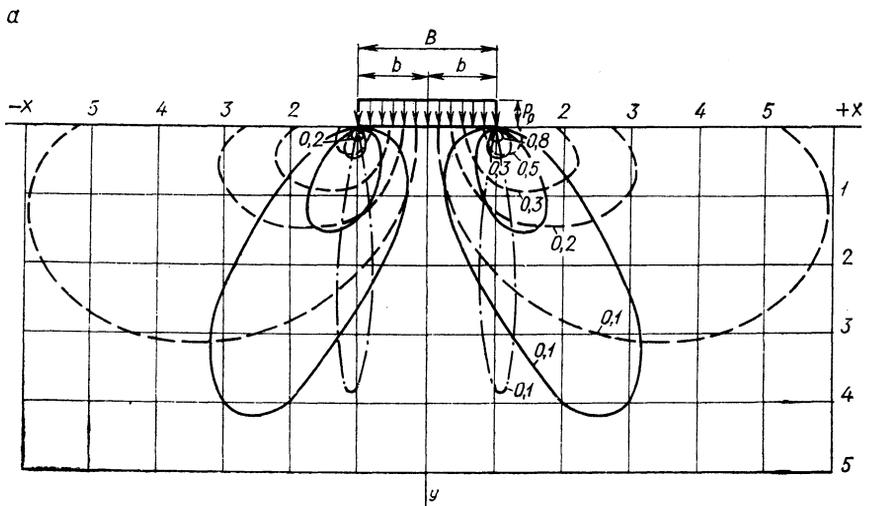


Рис. 1. Линии равных начальных напряжений (сплошные — для изотропного основания, пунктирные — для основания с преобладающей

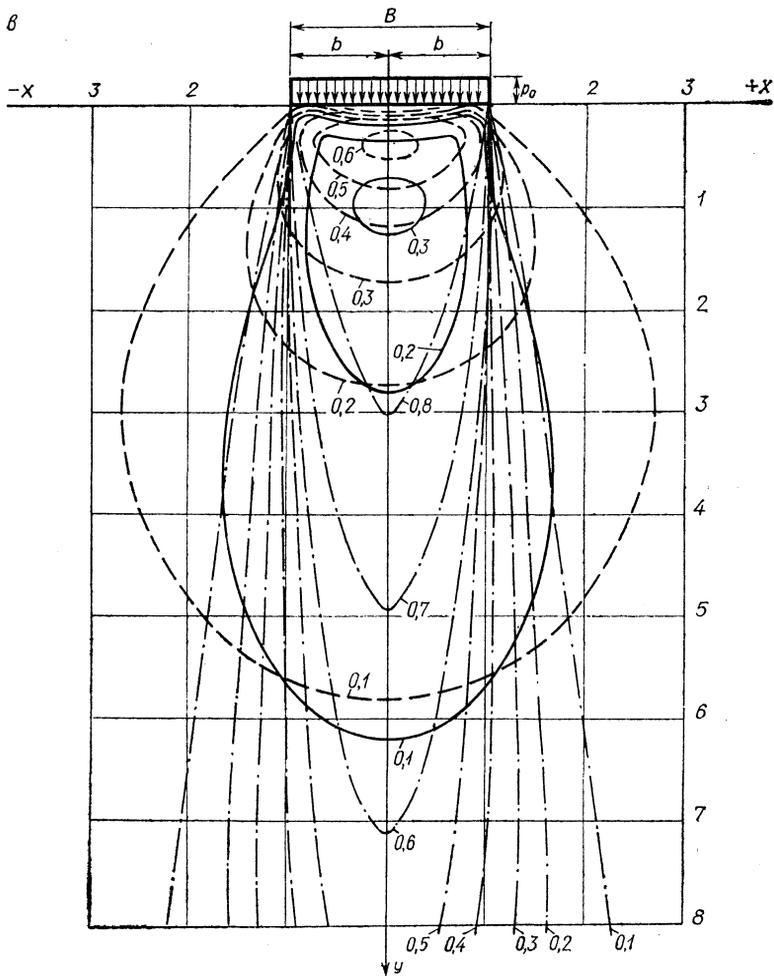
различия в картинах начального напряженного состояния изотропных и анизотропных по водопроницаемости оснований.

Очевидно, что эта разница предполагает и различия в характере деформирования водонасыщенных грунтов с доминирующей водопроницаемостью во взаимно перпендикулярных направлениях.

Для выявления качественной картины деформации нами производились опыты во вращающемся лотке со сборно-разборными стенками системы А. С. Кананяна. Передняя стенка лотка изготовлялась из толстого органического стекла, боковые стенки и днище были выполнены двойными. Металлические листы, примыкающие к грунту, имели отверстия.

Заполнение лотка производилось слоями мелкого сухого песка толщиной 3—5 мм и порошком каолиновой глины толщиной 10—12 мм.

При горизонтальном расположении слоев в какой-то мере воспроизводилась текстура ленточных глин; при их вертикальном расположе-



горизонтальной водопроницаемостью  $\frac{k_x}{k_y} = 100$ , штрихпунктирные — для основания с преобладающей вертикальной водопроницаемостью  $\frac{k_x}{k_y} = \frac{1}{100}$ ):

$$a - \tau_{xy}; \quad b - \tau_{\max}; \quad \sigma - \sigma_y = -\sigma_x.$$

нии имитировались фильтрационные свойства лессовых и лессовидных грунтов. Уплотнение слоев производилось вручную.

После отсыпки и уплотнения грунта в лоток заливалась вода, и грунт выдерживался до полного насыщения. Фильтрация воды происходила со стороны боковых стенок и дна при гидравлическом градиенте, равном единице. Для устранения фильтрационного взвешивания и набухания грунт прижимался металлической плитой, прикрепляемой к лотку болтами.

После полного насыщения вода сливалась, лоток опрокидывался, передняя прозрачная стенка из плексигласа снималась и на грунт наносилась деформационная сетка при помощи вдавливания специального шаблона с ячейками  $5 \times 5$  см. В образовавшиеся борозды засыпался окрашенный песок. Затем лоток устанавливался в прежнее положение, а его боковые карманы вновь заполнялись водой.

Грунтовая масса как при горизонтальном, так и при вертикальном расположении слоев в среднем характеризуется следующими показателями: объемный вес грунта  $\gamma_{нас} = 1,79$  т/м<sup>3</sup>; объемный вес скелета грунта  $\gamma_{ск} = 1,34$  т/м<sup>3</sup>; относительная влажность  $w = 32,3\%$ ; коэффициент фильтрации вдоль песчаных слоев  $k_{\parallel} = 1,34$  м/сутки; коэффициент фильтрации поперек песчаных слоев  $k_{\perp} = 0,0039$  м/сутки; их соотношение  $\alpha = \frac{k_{\parallel}}{k_{\perp}} \approx 350$ ; коэффициент пористости  $e = 0,936$ ; модуль деформации поперек слоев  $E_{\perp} = 9,311$  кг/см<sup>2</sup>; модуль деформации вдоль слоев  $E_{\parallel} = 8,392$  кг/см<sup>2</sup> (по данным компрессионных испытаний соотношение

$$\beta = \frac{E_{\parallel}}{E_{\perp}} = \frac{1}{1,1}.$$

Всего было выполнено 10 опытов, в том числе пять с горизонтальными слоями и пять — с вертикальными. Загружение производилось штампом площадью 260 см<sup>2</sup> ступенями по 6 кг в течение 1—2,5 мин до полного разрушения основания. Разрушение происходило при небольших удельных давлениях порядка 0,1—0,25 кг/см<sup>2</sup>.

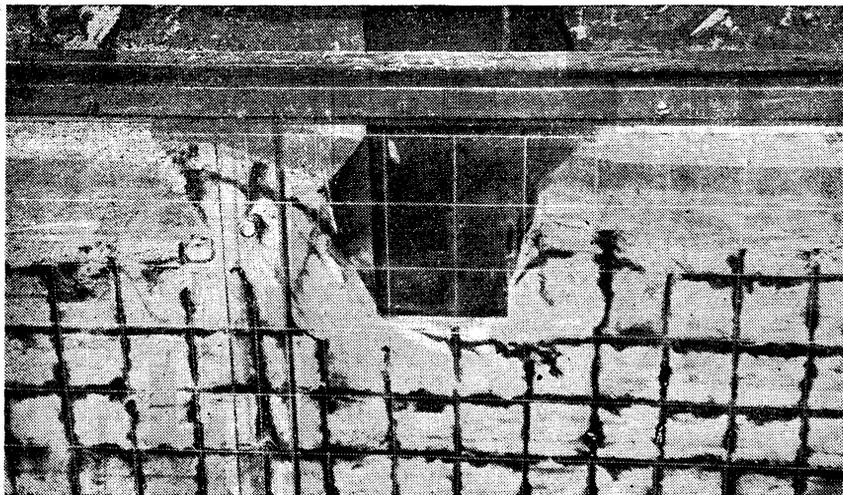
Характер деформаций устанавливался путем анализа нанесенной координатной сетки и общей картины разрушения. Деформации грунтовой среды с преобладающей горизонтальной водопроницаемостью характеризуются выжиманием грунта в стороны с образованием четко очерченной призмы выпирания с началом в центре штампа.

Образование грунтового упругого ядра не происходило. Деформация выпора захватывала всего две клетки по вертикали, расположенные ниже не искажались (рис. 2, а).

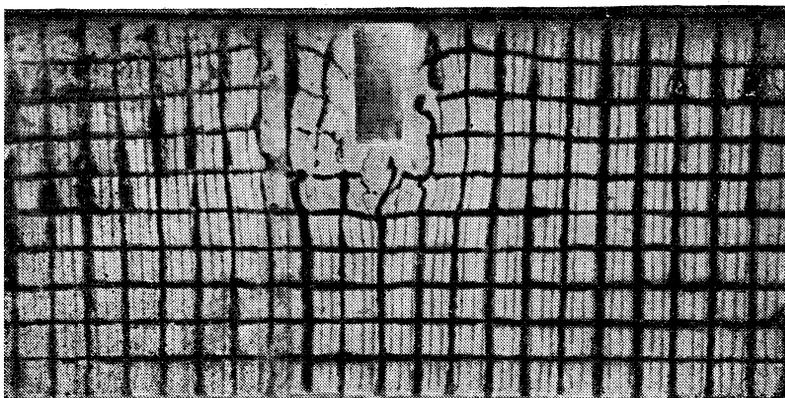
Очертание призмы выпора в общих чертах согласуется с очертаниями поверхностей скольжения, построенными для подобного случая на основе решения теории предельного напряженного состояния грунтов (рис. 3).

Для среды с преобладающей вертикальной водопроницаемостью характерной является деформация глубинного выпора. Установлено, что осадки штампа развиваются с момента приложения внешней нагрузки и нарастают при последующих ее ступенях.

Осадка сопровождалась некоторым подъемом поверхностей с боков штампа без видимого нарушения ее сплошности. Нарушения наблюдались в глубине массива по обеим сторонам упругого ядра, которое четко обозначалось за передней прозрачной стенкой (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Деформации анизотропного по водопроницаемости основания с преобладающей горизонтальной (а) и вертикальной (б) водопроницаемостью.

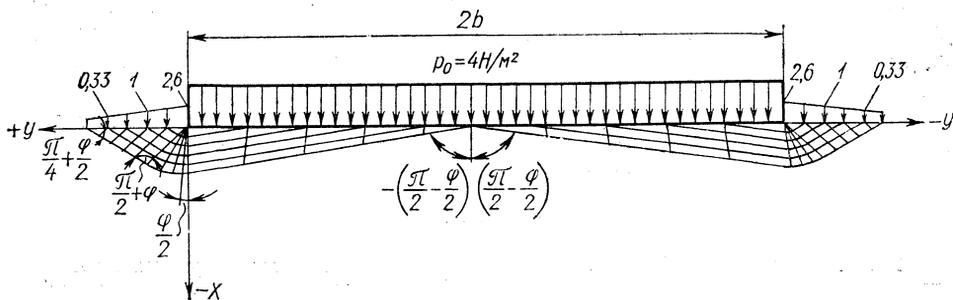


Рис. 3. Сетка линий скольжения для быстро загружаемого основания с преобладающей горизонтальной водопроницаемостью (при угле внутреннего трения  $\varphi=15^\circ$  и удельной силе сцепления  $c=0,2 \text{ H/m}^2$ ).

Глубина деформируемой зоны значительно превышала ту, которая имела место у среды с горизонтальным расположением слоев. При одинаковых нагрузках осадки штампов были всегда большими для среды с преобладающей вертикальной водопроницаемостью. Аналогичные опыты выполнялись и для слоистой сухой среды. Предельное равновесие наступало при нагрузках порядка  $1-1,5 \text{ кг/см}^2$  (рис. 4).

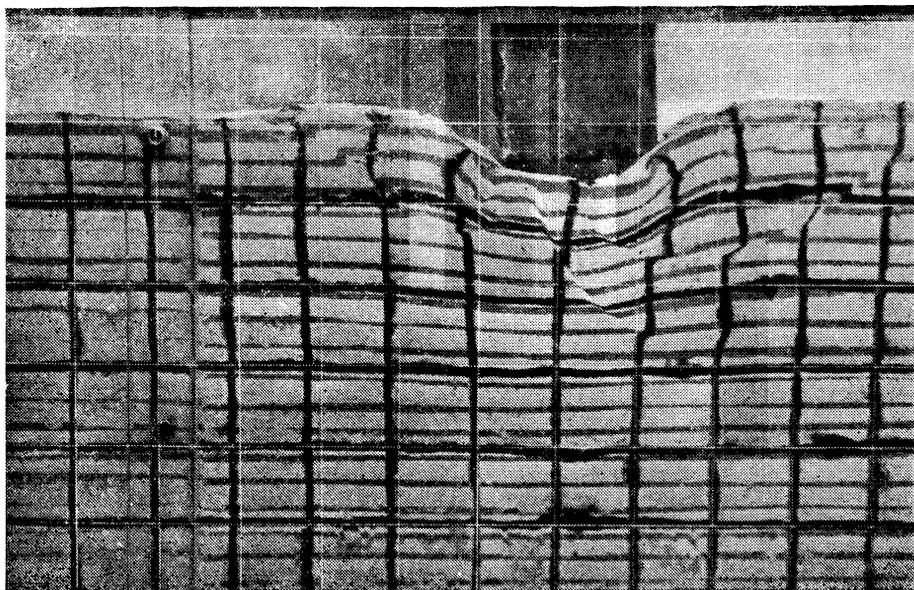


Рис. 4. Деформация сухого мелкослоистого основания.

### Выводы

1. Фильтрационная анизотропия оказывает существенное влияние на характер деформирования и устойчивость быстрозагружаемых водонасыщенных оснований.

2. Для водонасыщенной среды с преобладающей горизонтальной водопроницаемостью потеря устойчивости сопровождается образованием призм поверхностного выпора по четко очерченным поверхностям при отсутствии упругого клина.

3. Для водонасыщенной среды с преобладающей вертикальной водопроницаемостью имеет место значительная по величине осадка штампа, завершающаяся образованием четко выраженных упругого клина и глубинного выпора.

4. При одинаковых нагрузках и деформативных характеристиках осадка штампа во втором случае большая, а в первом случае потеря устойчивости наступает раньше.

### Литература

1. В. А. Рыжков, Н. П. Коваленко, Д. Д. Козьмин. Быстрое нагружение водонасыщенной торфяной залежи песчаным слоем. Сб. «Вопросы строительства и архитектуры. Основания, фундаменты и механика грунтов». Вып. 2. Минск, 1972. 2. Ю. А. Соболевский, В. А. Рыжков. Распределение фильтрационных напряжений в анизотропных по водопроницаемости основаниях при быстром приложении полосовой нагрузки. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1972, № 4.