

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОНСОЛИДАЦИИ ОБРАЗЦОВ ИЛИСТОГО ГРУНТА В  
РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ДРЕНИРОВАНИЯ\***

**Посуховский А.К., Мосичева И.И.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса.)

**Выполнено экспериментально-аналитическое обоснование допущений, принятых в предложенных методах расчёта предпостроечного уплотнения слабых водонасыщенных глинистых оснований портовых территорий при устройстве в них несовершенных вертикальных песчаных дрен.**

В работе [1] изложены инженерные аналитические методы расчёта предпостроечного уплотнения слабых глинистых водонасыщенных оснований при устройстве в них несовершенных вертикальных песчаных дрен для случаев одно- и двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды.

В соответствии с расчётной схемой, принятой при разработке указанных методов, уплотняемая толща слабого грунта мощностью  $H$  рассматривалась состоящей из двух слоёв: верхнего, в пределах которого устроены дрены, мощностью  $H_1 = H_{op}$ , и нижнего, под дренами, мощностью  $H_2 = H - H_1$ . Расчёт консолидации каждого из указанных слоёв производится отдельно с последующим суммированием результатов, соответствующих одному значению времени консолидации  $t$ . При этом расчёт консолидации верхнего слоя  $H_1$  рекомендуется производить методом равных вертикальных деформаций [2], а расчёт уплотнения нижнего слоя  $H_2$  - по предлагаемым аналитическим методам [1], основанным на использовании известных [3] предпосылок теории фильтрационной консолидации грунтов, и принятии дополнительного допущения о

---

\*) Работа выполнена под руководством профессора Школа А.В.



замене действительной области уплотнения эквивалентной ей в геометрическом отношении полусферой радиусом  $R$ .

С целью оценки результатов расчёта консолидации нижнего (поддренного) слоя слабого грунта  $H_2$  по предложенным аналитическим методам были выполнены следующие четыре серии опытов с образцами-близнецами, приготовленными из ила суглинистого:

Серия I – консолидационные испытания однородных водонасыщенных образцов иловой пасты при односторонней вертикальной фильтрации поровой воды;

Серия II – консолидационные испытания однородных водонасыщенных образцов иловой пасты с центральной песчаной дренажной диаметром  $d_{op} = 2.0$  см при отсутствии вертикальной фильтрации поровой воды;

Серия III – то же, образцов с центральным отверстием в штампе диаметром  $d_{оте} = 2.0$  см;

Серия IV – то же, при односторонней вертикальной фильтрации поровой воды в днище прибора.

При этом целью опытов серий I и II являлось получение опытных значений коэффициентов консолидации при вертикальной ( $C_v$ ) и радиальной ( $C_r$ ) фильтрации поровой воды в чистом виде.

Для проведения опытов всех серий в качестве исходного грунта использовался ил суглинистый, отобранный из промежуточной зоны опытного гидроотвала в лимане М. Аджалык.

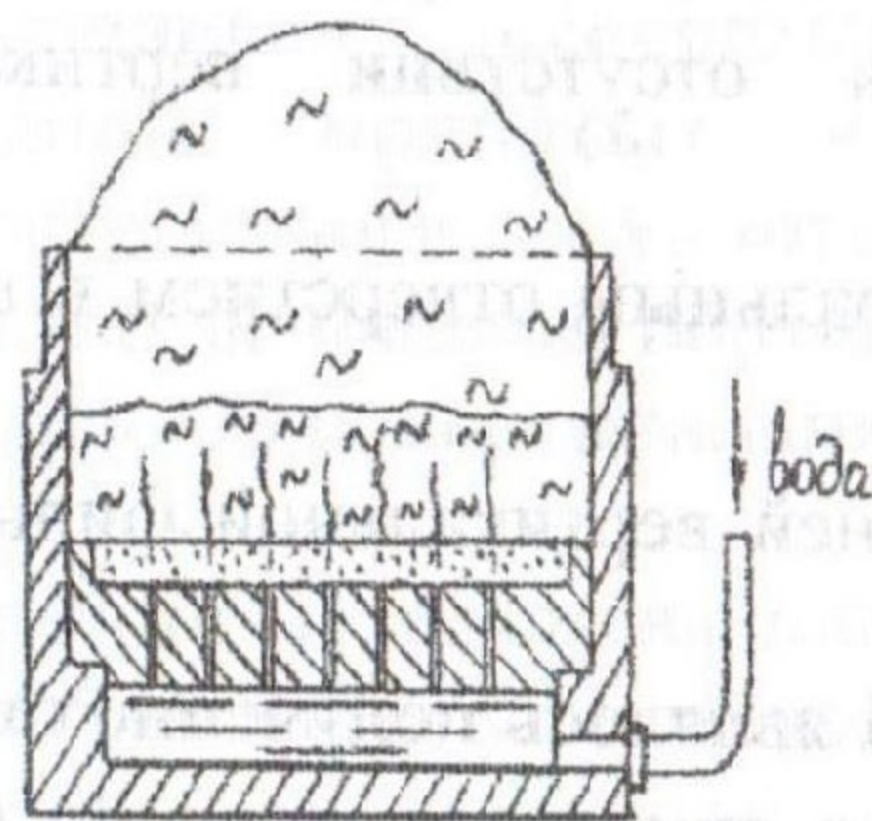
Приготовление всех образцов для проведения консолидационных испытаний проводилось по так называемой «сухой» методике. Она заключается в следующем: доставленный на место проведения исходный грунт природной влажности предварительно высушивали в естественных условиях, а затем его измельчали в порошок до размеров частиц менее 1 мм. Полученный порошок через сито с отверстиями диаметром 0.25 мм засыпался в рабочую камеру одометра с некоторым запасом («шапкой») на осадку при его водонасыщении (рис. 1а).

После водонасыщения содержимого камеры лишний грунт убирался заподлицо с верхней кромкой одометра. Водонасыщение производилось путём подачи остужённой кипячёной воды в полость между основанием и пористым днищем прибора с песчаным фильтром толщиной 0.5 см.



Консолидационные испытания по всем сериям проводились на нестандартных компрессионных приборах (одометрах), отличающихся от обычных размерами образцов (диаметр  $D_0 = 140$  мм и высота  $H_0 = 50$  мм) и некоторыми конструктивными особенностями, благодаря которым полностью исключались перекос штампа и выдавливание слабого грунта (иловой пасты в текучем состоянии) в процессе проведения опытов (рис. 1б).

а)



б)

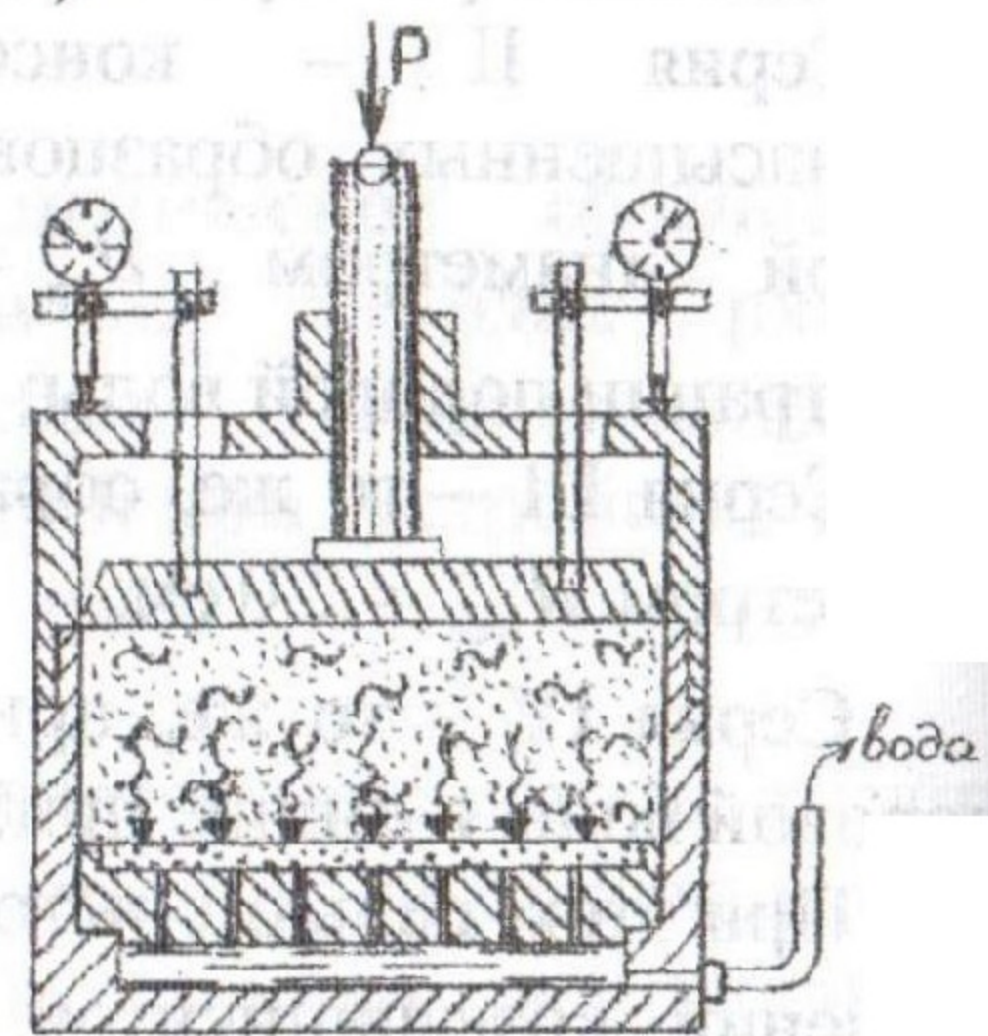


Рис. 1. Подготовка и испытание однородных образцов иловой пасты.

Учитывая специфические особенности испытываемого грунта, консолидационные испытания его производились по нестандартной методике, заключающейся в постепенном наращивании расчётной уплотняющей удельной нагрузки  $P$ , принятой во всех опытах равной  $0.10$  МПа. Указанная нагрузка создавалась шестью ступенями, равными  $0.01$ ;  $0.03$ ;  $0.05$ ;  $0.07$ ;  $0.09$  и  $0.10$  МПа, и прикладываемыми с интервалом, равным  $2.0$  мин. Таким образом, полная величина расчётной уплотняющей нагрузки на образцы  $P = 0.10$  МПа создавалась за  $10$  мин.

Далее испытания проводились в режиме, соответствующем требованиям ГОСТ 12248 - 96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Определение значений коэффициентов консолидации  $C_v$  и  $C_c$  по результатам опытов серий I и II, соответственно, производилось по



методикам, приведенным в [4], а величина коэффициента консолидации  $C_{vr}$  при комбинированном направлении фильтрации поровой воды в опытах серий III и IV определялась по предлагаемой методике с использованием следующего выражения для его определения:

$$C_{vr} = T_{vr_{50\%}} \frac{\left(R - \frac{d_{op}}{2}\right)^2}{t_{50\%}},$$

где  $T_{vr_{50\%}}$  - фактор времени при величине степени консолидации образца  $Q_{vr} = 0.50$ , определяемый по соответствующему графику зависимости  $Q_{vr} = f(T_{vr}, n, m)$ , приведенному в [4], при  $n = \frac{D_0}{d_{op}} = 7$  и

$$m = \frac{H_0}{d_{op}} = 2.5;$$

$t_{50\%}$  - время достижения степени консолидации образца  $Q_{vr} = 0.50$ , определяемое по опытному графику зависимости  $Q_{vr} = f(\lg t)$ . Средние по трём опытам значения коэффициентов консолидации  $\overline{C_v}$ ,  $\overline{C_r}$ ,  $\overline{C_{vr_1}}$ ,  $\overline{C_{vr_2}}$ , полученные по указанным выше методикам, равны:  $\overline{C_v} = 0.51 \text{ см}^2/\text{мин}$ ;  $\overline{C_r} = 3.45 \text{ см}^2/\text{мин}$ ;  $\overline{C_{vr_1}} = 0.33 \text{ см}^2/\text{мин}$  и  $\overline{C_{vr_2}} = 0.56 \text{ см}^2/\text{мин}$  (где  $\overline{C_{vr_1}}$  и  $\overline{C_{vr_2}}$  - значения коэффициентов консолидации по результатам опытов серий III и IV, соответственно).

На рисунках 2 и 3 приведены графики консолидации образцов иловой пасты цилиндрической формы, полученные по результатам опытов серий III и IV.

На этих же рисунках для сравнения приведены графики консолидации, полученные в результате расчёта консолидации образцов по методам, изложенным в [1], при двух значениях коэффициента консолидации  $\overline{C_{vr}}$ , полученных опытным и расчётным путями.



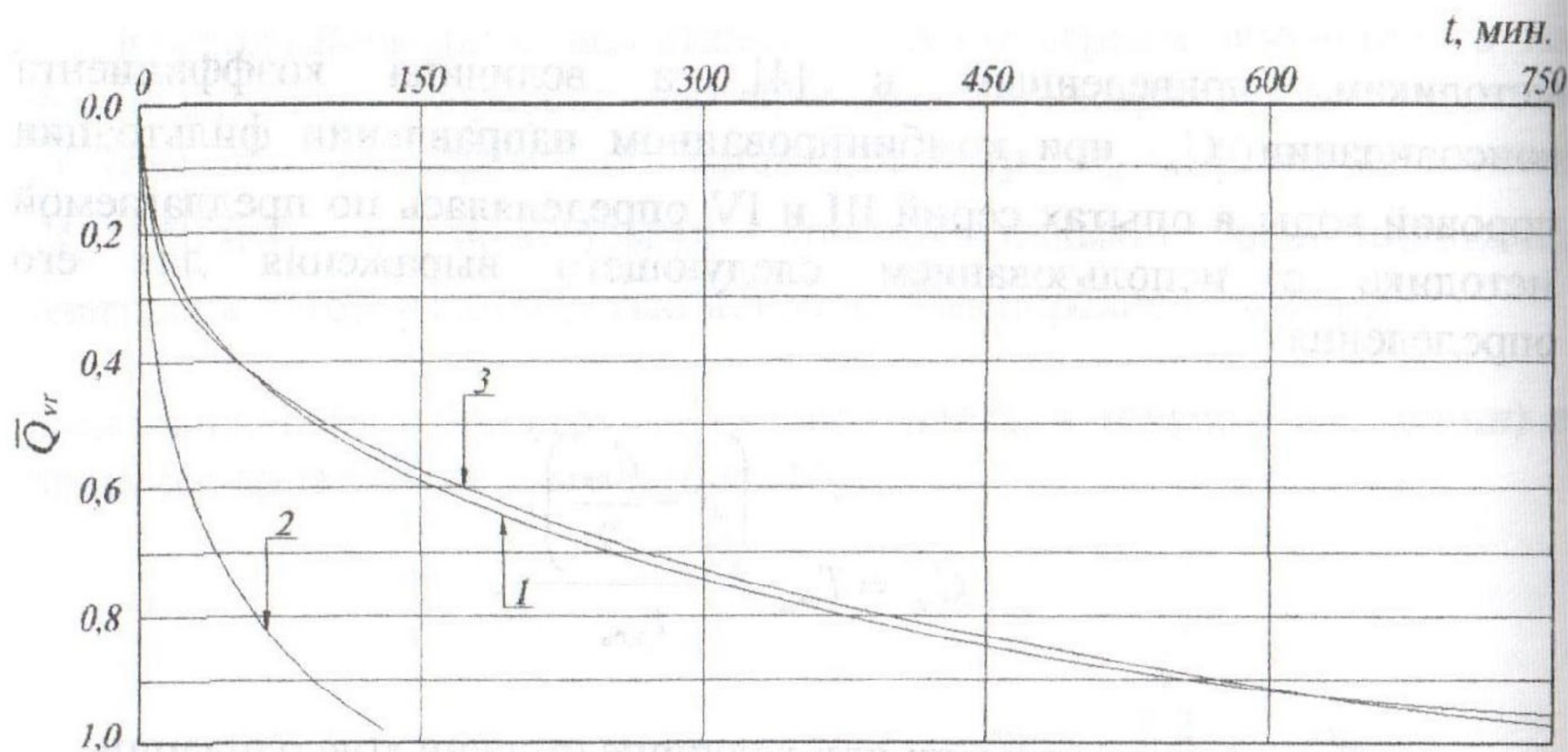


Рис. 2. Графики консолидации грунтового цилиндра диаметром  $D=14.0\text{ см}$  и высотой  $H=5.0\text{ см}$  с центральным отверстием в штампе диаметром  $d=2.0\text{ см}$  (по данным 3-х опытов).

1 - опытная кривая; 2 - расчётная кривая при

$$\overline{C_w^p} = (\overline{C_v} + \overline{C_r})/2 = 1.98\text{ см}^2/\text{мин}; 3 - \text{то же, при } \overline{C_w^{\text{on}}} = 0.33\text{ см}^2/\text{мин}.$$

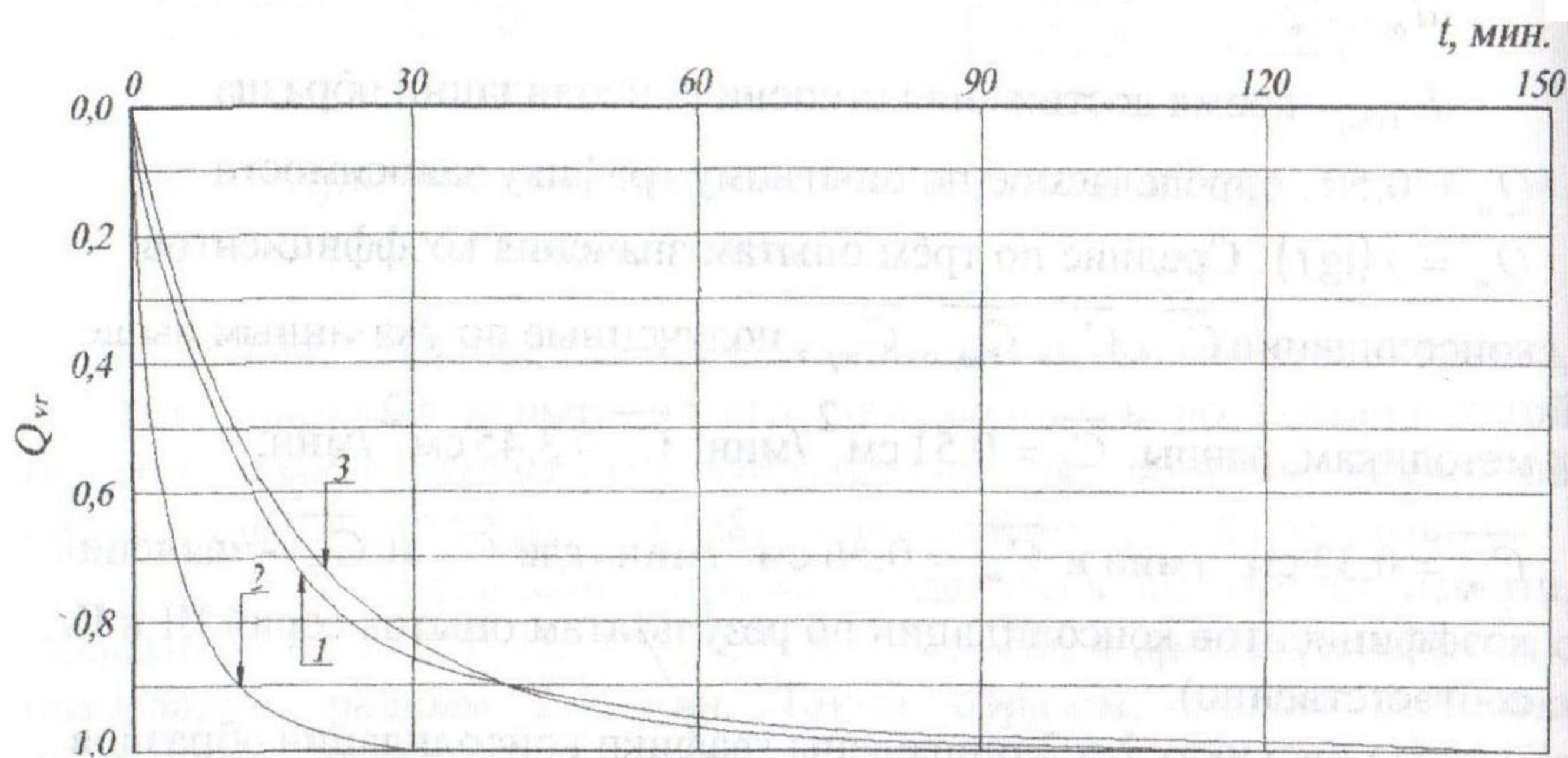


Рис. 3. Графики консолидации грунтового цилиндра диаметром  $D=14.0\text{ см}$  и высотой  $H=5.0\text{ см}$  при фильтрации поровой воды в днище и центральное отверстие в штампе диаметром  $d=2.0\text{ см}$  (по данным 3-х опытов).

1 - опытная кривая; 2 - расчётная кривая при

$$\overline{C_w^p} = (\overline{C_v} + \overline{C_r})/2 = 1.98\text{ см}^2/\text{мин}; 3 - \text{то же, при } \overline{C_w^{\text{on}}} = 0.56\text{ см}^2/\text{мин}$$



Как видно из указанных рисунков, расчётные кривые консолидации, полученные с использованием значений коэффициентов  $\overline{C_v}$ , определённых непосредственно по результатам соответствующих консолидационных испытаний, достаточно тесно согласуется с опытными кривыми.

Таким образом, принятое в инженерных методах расчёта уплотнения нижнего (поддренного) слоя слабого грунта  $H_2$  выражение для определения коэффициента консолидации  $C_v$  следует признать не выдержавшим экспериментальной проверки.

С целью иллюстрации корректности методического обеспечения выполненных испытаний на рисунке 4 приведены опытные кривые консолидации, полученные по результатам всех четырёх серий опытов. Как следует из этого рисунка, все четыре опытных графика находятся в логической согласованности между собой (рис. 4).

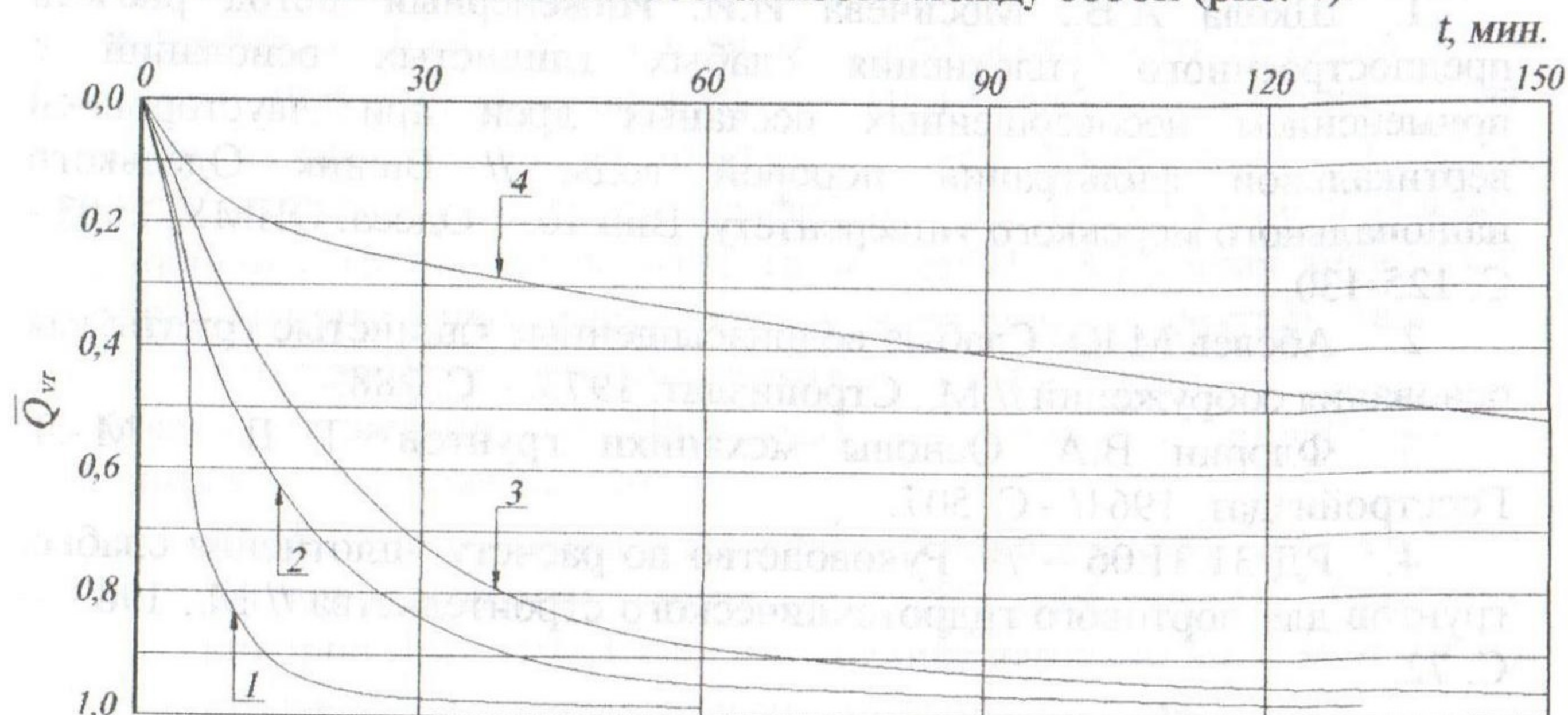


Рис. 4. Опытные графики консолидации грунтового цилиндра  $D=14.0\text{ см}$  и  $H=5.0\text{ см}$  при фильтрации поровой воды: 1 - в центральную песчаную дрена  $d=2.0\text{ см}$ ; 2 - в центральное отверстие в штампе  $d=2.0\text{ см}$  и днище одометра; 3 - в днище одометра; 4 - в центральное отверстие в штампе.

#### Выводы.

1. Принятое в инженерных методах [1] расчёта предпостроечного уплотнения слабых глинистых водонасыщенных оснований



допущение о замене действительной области уплотнения нижнего слоя  $H_2$  равновеликой ей полусферой выдержало экспериментальную проверку, о чём свидетельствует хорошая согласованность соответствующих опытных и расчётных кривых консолидации, полученных с использованием выражений для определения  $R$ , приведенных в [1].

2. Для практической реализации изложенного подхода к учёту действительной области уплотнения нижнего слоя необходимо определение исходного коэффициента консолидации  $C_v$ , производить непосредственно по результатам консолидационных испытаний при соответствующих условиях дренирования.

### Литература.

1. Школа А.В., Мосичева И.И. Инженерный метод расчёта предпостроечного уплотнения слабых глинистых оснований с применением несовершенных песчаных дрен при двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды // Вісник Одеського національного морського університету. Вип. 10. – Одеса: ОНМУ, 2003. – С. 125-130.

2. Абелев М.Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений // М., Стройиздат, 1973. – С. 288.

3. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Т II // М.-Л. Госстройиздат, 1961/ - С. 507.

4. РД 31.31.06 – 79. Руководство по расчёту уплотнения слабых грунтов для портового гидротехнического строительства // М., 1983. – С. 72.