

УДК 624.131.6

ГЕОМЕХАНИКА

В. С. Саркисян, Г. Т. Хачатурян, С. Ш. Нуридджанян, Л. В. Дасоян

О прогнозе оседания поверхности земли при откачках подземных вод

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. Т. Асланяном 1/II 1985)

Интенсивная эксплуатация подземных вод вызывает падение их уровня, вследствие чего увеличиваются эффективные напряжения, а это в свою очередь является причиной возникновения деформаций грунтовых массивов (1).

Проблема прогноза деформаций грунтов при откачках подземных вод очень актуальна. Наблюдаемые осадки поверхности земли в некоторых районах Мехико (Мексика) и Лонг-Бич (США) достигают 7-8 м.

В работах (2-3) принимается, что деформация массива грунта происходит под воздействием объемных сил γ^* (рис. 1), равномерно распределенных в пределах депрессионной воронки и равных (с уче-

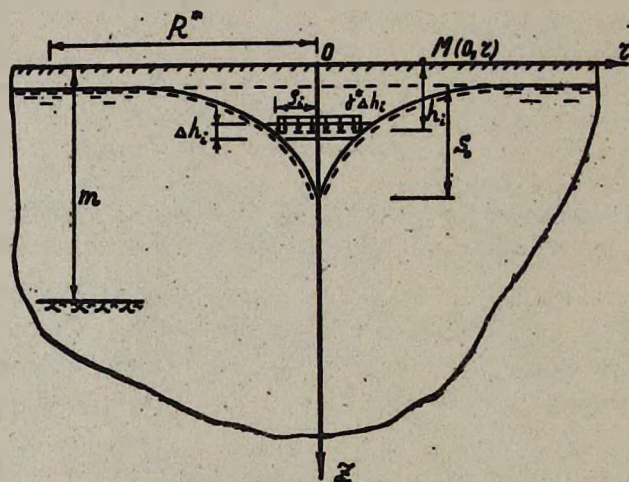


Рис. 1. Расчетная схема

том взвешивающего действия воды) разности удельных весов грунта выше и ниже кривой депрессии. Перемещения точек поверхности полупространства получены интегрированием решения задачи Миндлина при действии вертикальной сосредоточенной силы внутри полупространства

$$W(0, r) = \frac{\gamma^*(1+\mu)}{E} \sum_{i=1}^n \int_0^{2\pi} \Delta h_i \left[2(1-\mu)(y_i - y_0) + b(1-\mu) \right] \cdot$$

$$\cdot \ln \left| \frac{2(y_i + \rho_i) - b}{2(y_{0i} + \rho_0) - b} \right| + \frac{2h_i^2}{4c_i - b^2} \left(\frac{2c_i - b\rho_0}{y_{0i}} - \frac{2c_i - b\rho_i}{y_i} \right) \Big] d\varphi, \quad (1)$$

$$y_i = \sqrt{\rho_i^2 - b\rho_i + c_i}; \quad y_{0i} = \sqrt{\rho_0^2 - b\rho_0 + c_i}; \quad b = 2r \cos \varphi; \quad c = h_i^2 + r^2,$$

где μ и E — соответственно коэффициент Пуассона и модуль деформации; ρ_i — радиус круга, по площади которого действует нагрузка; ρ_0 — радиус скважины; r — расстояние от начала координат до рассматриваемой точки; h_i и Δh_i — глубина расположения i -го „элементарного“ слоя и его толщина.

Приведенный метод прогноза оседания поверхности земли, как это указывается в (2), не может быть использован во всех случаях. Одним из решающих факторов в данном случае является возможность принятия модели грунта в виде линейно-деформируемого полупространства. Довольно часто встречаются случаи, когда на относительно небольшой глубине (по сравнению с размерами площади нагрузки) залегают практически несжимаемые горные породы. Поэтому вполне естественно возникают вопросы: а) как влияет наличие подстилающего несжимаемого слоя на осадки поверхности земли? б) при какой толщине сжимаемого слоя его можно рассматривать как полупространство?

Для выяснения этих вопросов нами была решена та же задача, но в предположении об ограниченной толщине слоя грунта, ниже которого залегает практически несжимаемая горная порода.

Решение задачи в перемещениях (при постоянных G и K) сводится к интегрированию следующей системы уравнений (4):

$$(2G + \lambda) \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + G \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{G}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + (G + \lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial z} + \frac{G + \lambda}{r} \frac{\partial u}{\partial z} + \gamma^* = 0, \quad (2)$$

$$G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + (2G + \lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2G + \lambda}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + (G + \lambda) \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial z} - (2G + \lambda) \frac{u}{r^3} = 0,$$

где $\lambda = (K - 2G)/3$; G — модуль сдвига; K — модуль объемной деформации; u и v — перемещения в горизонтальном и вертикальном направлениях.

При решении системы (2) должны быть удовлетворены краевые условия:

$$\begin{aligned} & \text{при } \left. \begin{array}{l} r=0 \\ r=R^* \end{array} \right\}; \quad u=0, \quad \frac{\partial v}{\partial r}=0, \\ & \text{при } z=0; \quad \sigma_z=0, \quad \tau_{rz}=0, \\ & \text{при } z=m; \quad u=0, \quad v=0, \end{aligned} \quad (3)$$

где R^* — радиус расчетной области.

Система уравнений (2) с учетом краевых условий (3) была решена численно с помощью метода конечных разностей. Реализация алгоритма была произведена на ЭВМ СМ-4 (язык Фортран-IV).

Погрешность метода конечных разностей была уменьшена до минимума путем применения метода последовательной верхней релаксации и подбора наиболее рациональной аппроксимирующей сетки. Для

проверки точности полученного решения было произведено сравнение численного решения с аналитическим для частного случая (одномерная задача). Разница в результатах аналитического и численного решений оказалась незначительной (менее 1%).

На рис. 2 изображены кривые формы поверхности земли, полученные по решениям для полупространства (кривые 1) и для слоя тол-

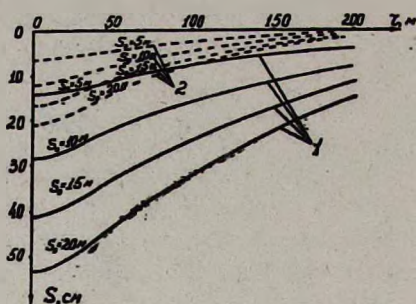


Рис. 2. 1—оседание земной поверхности в случае полупространства (сплошные линии); 2—то же в случае конечной мощности сжимаемого грунта (пунктирные линии)

щиной $m=80$ м (кривые 2) при различных понижениях уровня воды в скважине ($S_0=5$; 15 и 20). При расчете были приняты следующие значения параметров: $G=5,9$ МПа и $K=17,6$ МПа. Как видно из рис. 2, влияние ограниченности деформируемой толщи значительно. Так, в случае понижения уровня в скважине на 20 м максимальная осадка поверхности полупространства равна 53,7 см, в то время как при $m=80$ м она равна 21,3 см.

Для определения области возможного применения метода расчета по схеме полупространства были произведены расчеты для различных толщин сжимаемого слоя. Результаты расчетов приведены на рис. 3, где 1—это максимальная осадка поверхности полупространства,

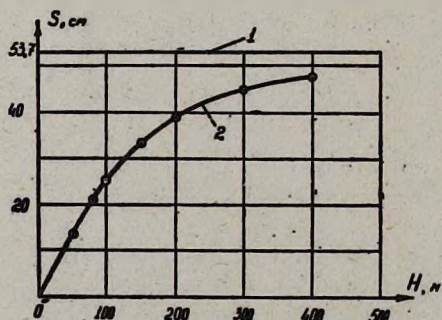


Рис. 3. Зависимость максимальных осадок от толщины сжимаемого слоя при $S_0=20$ м

а 2—величины максимальных осадок при различных толщинах сжимаемого слоя. Из рис. 3 видно, что кривая 2 асимптотически стремится к 1, как и следовало ожидать.

При сравнении величин оседания поверхности земли, как в случае

полупространства, так и в случаях сжимаемого слоя ограниченной толщины, положение депрессионной кривой принималось одинаковым независимо от толщины слоя. Это было сделано для того, чтобы выявить влияние на результат расчета ограниченности толщи в «чистом виде».

Таким образом, можно прийти к заключению, что модель линейно-деформируемого полупространства при выбранных параметрах может быть принята с ошибкой в $5+10\%$ при толщине деформируемого слоя в $500+600$ м.

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

Վ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Գ. Տ. ԿԱԶԱՆՈՒՐՅԱՆ, Ս. Շ. ՆՈՒՐԻՋԱՆՅԱՆ, Լ. Վ. ԴԱՍՈՅԱՆ

Երկրի մակերևույթի նստվածքի կանխագուշակումը ստորգետնյա ջրերի հորիզոնի իջեցման դեպքում

Հեղինակների կողմից տրվում է ստորգետնյա ջրերի մակարդակի իջեցման հետևանքով երկրի մակերևույթի նստվածքի նախագուշակման մեթոդ, չրատար շերտի սահմանափակ չափերի դեպքում: Ստացված լուծման հիման վրա որոշվում է այժմ օգտագործվող (անվերջ մեծ հզորության շերտի դեպքում) մեթոդի կիրառության ոլորտը: Երկու մեթոդներով կատարված հաշվարկների արդյունքների համադրումը ցույց է տալիս, որ գոյություն ունեցող մեթոդը մինչև 10% -ի սխալով կարելի է օգտագործել, երբ չրատար շերտի հզորությունը մեծ է 600 մ:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ И. В. Гармонов, А. А. Коноплянцева, Ф. В. Котлов, в кн.: Некоторые вопросы теории прогноза оседания. Обзоры по отдельным проблемам, вып. 17, М.: Изд. ВИЭМС (1965). ² З. Г. Тер-Мартirosян, Проблемы геомеханики, № 6, 1973. ³ З. Г. Тер-Мартirosян, С. Ш. Нуриджанян, Межвузовский сб. науч. тр. «Строительство и архитектура». Сер. 12, вып. 6 (1980). ⁴ С. П. Тимошенко, Курс теории упругости, Наукова думка, Киев, 1972.