УДК 624.137

**Г.А.СЕЛИВАНОВА**
*Московский государственный геолого-разведочный университет*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассмотрены область применения и достоинства шпунтовых стен, механизм работы шпунтовой стены и действующие на нее нагрузки. Исследованы основные факторы, влияющие на параметры шпунтовой стены, и определены функциональные зависимости. На основании аналитических и экспериментальных исследований разработана методика расчета шпунтовой стены: параметры и устойчивость шпунтовых стен определяются по данным о физико-механических свойствах грунта. Разработан и обоснован порядок использования предлагаемой методики на стадии проектирования.

The spunt walls advantages and their application is presented. The mechanism of work and applied forces are discussed, as well as basic factors, influencing on parameters of the wall, and their functional interconnections. The method of projecting walls, based on calculations of parameters and stability of spunt walls, as well as on the physical-mechanical properties data of material, was worked out. The application of the method on projecting stage is discussed.

Применение шпунтовых стен весьма эффективно при возведении разнообразных гидротехнических сооружений:

- дренажных коллекторов противооползневых галерей;
- водозаборов, заглубленных емкостных сооружений, установок для очистки воды и стоков;
- диафрагм для защиты грунтов окружающих территорий от утечки воды и подтопления из водохранилищ;
- противофильтрационных диафрагм, ограждающих хвостохранилища различных добывающих и перерабатывающих предприятий, пруды-отстойники, пруды-накопители для промышленных стоков, не поддающихся очистке, а также пруды-охладители воды;
- противофильтрационных ограждений строительных котлованов и карьеров по добыче полезных ископаемых с целью экономии городских территорий и сокращения до минимума отвода под застройку ценных сельскохозяйственных земель.

Рассмотрим несущую способность массива, находящегося в состоянии предельного равновесия, нагруженного горизонтальной силой и защемленного в сыпучем теле. Перемещение массива происходит в результате его поворота на малый угол вокруг точки $K$, расположенной на глубине $Z_0$, где изгибающий момент равен нулю. Отпор среды изменяется: по боковым граням – по закону квадратичной параболы; по подошве массива – по закону трапеции (рис.1).

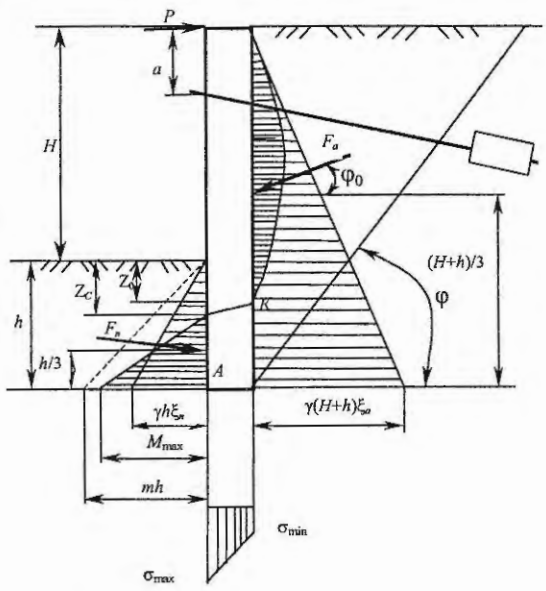



Рис.1. Схема к расчету шпунтовой стены

**Значения коэффициентов для расчета устойчивости шпунтовой стены**

| φ | γ, кН/м$^3$ | $n$ | $k_{P1}$, кН | $k_{P2}$, кН | $k_{M1}$, кН·м | $k_{M2}$, кН·м | $k_{a1}$, м | $k_{a2}$, м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25° | 15 | 0,15 | 279,46 | 171,12 | 307,46 | 64,28 | 7,51 | 4,3 |
| 30 | 16 | 0,08 | 164,12 | 74,58 | 229,63 | 46,2 | 5,8 | 2,41 |
| 35 | 17 | 0,035 | 102,11 | 35,69 | 173,11 | 33,41 | 5,2 | 1,6 |
| 40 | 18 | 0,007 | 67,65 | 18,31 | 141,35 | 26 | 4,61 | 1,27 |

Глубина забивки шпунтовой стены

$$h = 0{,}67\frac{\xi_a}{\xi_п - \xi_a}H - 0{,}5nH + \sqrt{6\frac{\xi_a}{\xi_п - \xi_a}\sqrt{1+n}\sqrt{H}},$$

где $n$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от угла внутреннего трения грунта (см. таблицу); $H$ – полезная глубина котлована; $\xi_a = \mathrm{tg}^2(45° - \varphi/2)$ – коэффициент активного давления грунта; $\xi_п = \mathrm{tg}^2(45° + \varphi/2)$ – коэффициент пассивного давления грунта; $\gamma$ – удельный вес грунта; $\varphi$ – угол внутреннего трения грунта.

С учетом основных характеристик ($\varphi$ и $H$), влияющих на глубину забивки, предлагается зависимость вида $h = f(H, \varphi)$ с коэффициентом корреляции 0,98:

$$h(\varphi) = k_{h1}H - k_{h2}H^2,$$

где $k_{h1}$ – коэффициент, зависящий от активного и пассивного давления грунта; $k_{h2}$ – коэффициент, учитывающий влияние поперечных сил в точке $K$.

Выражение для $h = f(H, \varphi)$ подтверждается опытными данными, полученными при строительстве третьего кольца в г.Москве (рис.2).

Сила $P$ (рис.3), отвечающая равновесному состоянию массива после окончательной выемки грунта глубиной $H$,

$$P(\varphi) = k_{P2}(H/h)^2 - k_{P1}(H/h), \qquad (1)$$

где $k_{P1}$, $k_{P2}$ – размерные коэффициенты (см. таблицу).

Расстояние от поверхности до места крепления анкера (точка приложения силы $P$) с учетом основных характеристик ($\varphi$ и $H$)

$$a(\varphi) = k_{a2}(H/h)^2 - k_{a1}(H/h). \qquad (2)$$

Выражения (1) и (2) позволяют классифицировать шпунтовые стены на консольные с заделкой нижней части в грунт и опертые поверху с заделкой нижней части в грунт. Зависимость величины $a$ от соотношения $H/h$ показана на рис.4.

Максимальный изгибающий момент шпунтовой стены с учетом основных характеристик

$$M(\varphi) = k_{M1}(H/h) + k_{M2}(H/h)^2.$$

Значения коэффициентов $k_{M1}$ и $k_{M2}$ приведены в таблице.

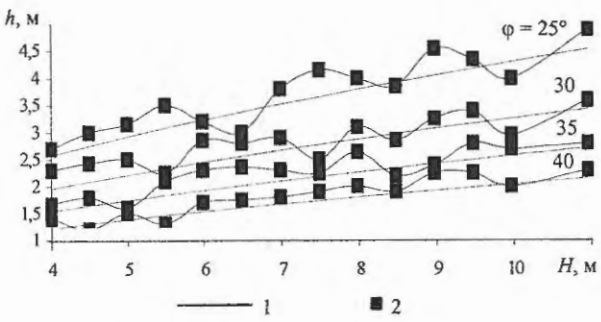



Рис.2. Зависимость глубины забивки $h$ от глубины котлована $H$
1 – кривая вида $h(\varphi) = k_{h1}H - k_{h2}H^2$;
2 – экспериментальные данные

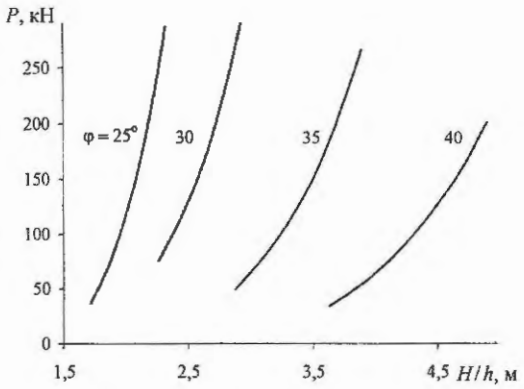



Рис.3. Зависимость величины силы $P$ от соотношения $H/h$

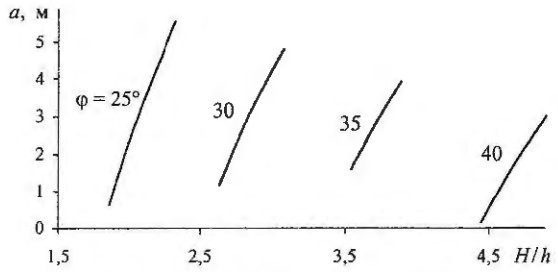



Рис.4. Зависимость величины $a$ от соотношения $H/h$

Величина прогиба в произвольном сечении для данной схемы нагружения на единицу длины

$$IE\theta_x = IE\theta_0 - \frac{\gamma\xi_a x^4}{24} + \frac{\gamma\xi_n (x-H)^4}{24};$$

$$IEf_x = IEf_0 + IE\theta_0 x - \frac{\gamma\xi_a x^5}{120} + \frac{\gamma\xi_n (x-H)^5}{120},$$

где $IE$ – жесткость стены, кН·м$^2$; $f_0$ – прогиб свободного конца стенки, м; $\theta_0$ – угол поворота сечения свободного конца стенки, рад; $x$ – расстояние от поверхности, м.

Проверка на прочность грунта производится по горизонтальному давлению на уровне подошвы шпунтовой стены в точке $A$ (см. рис.1):

$$\sigma_h = P\frac{4(h+3H)h}{3b^3+h^3} \le mh, \qquad (3)$$

где $m$ – угловой коэффициент,

$$m = 4\gamma\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\cos\varphi} = (\gamma\xi_n - \xi_a).$$

Расчет на прочность самой шпунтовой стенки ведется по формуле

$$\sigma = -\frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} \le [\sigma_б], \qquad (4)$$

где $\sigma$ и $\sigma_б$ – предел прочности стены и бетона; $N$ – нормальная реакция шпунтовой стены, кН; $F$ – площадь сечения стены, м$^2$; $W$ – осевой момент сопротивления, м$^3$.

Деформации – перемещение верха стенки – должны удовлетворять условию

$$f_0 \le [f], \qquad (5)$$

где $[f]$ – допустимая величина перемещения. Если это условие соблюдается, значения силы $P$ можно считать допустимыми.

При несоблюдении условий (3)-(5) следует увеличить параметр $b$ или закрепить стену с помощью анкеров, добиваясь минимального значения силы $P$.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Е.С.Булгаков*