

О КОНЕЧНОЙ ВЗВЕШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЧНО ВОДОНАСЫЩЕННОГО ГРУНТА

Проф., докт. техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН¹

Реферат. После затопления частично водонасыщенного грунта вода постепенно вытесняет воздух из пор: взвешенная плотность грунта увеличивается. После полного замещения воздуха водой взвешенная плотность грунта будет равна $\rho' = \rho - (1 + S_r e) \rho_w / (1 + e)$, где ρ — плотность грунта, e — коэффициент пористости, S_r — степень водонасыщения и ρ_w — плотность воды.

Применение вытекающей из закона Архимеда формулы для определения взвешенной плотности ρ' частично водонасыщенного грунта

$$\rho' = \rho - \rho_w, \quad (1)$$

где ρ — плотность грунта и ρ_w — плотность воды, справедливо лишь для самого начального момента затопления грунта, пока еще в нем сохраняется содержащийся в порах воздух. В дальнейшем воздух из пор удаляется и замещается водой; из крупных пор воздух довольно быстро удаляется в виде пузырьков, всплывающих в водоеме, а из мелких пор — путем медленного растворения в фильтрующейся воде. В обоих случаях все поры частично водонасыщенного грунта со временем оказываются заполненными водой, вследствие чего плотность взвешенного грунта увеличивается по сравнению с плотностью, вычисляемой по уравнению (1).

Для подсчета этого увеличения обозначим: n — общая пористость грунта, n_w — объем пор, заполненных водой и n_a — объем пор, занятых воздухом; $n = n_w + n_a$. Масса твердых частиц в единице объема равна $(1 - n) \rho_s$, где ρ_s — их плотность. Масса воды в том же объеме грунта равна $(1 - n) \omega \rho_s$, где ω — влажность грунта; ее объем составляет $n_w = (1 - n) \omega \rho_s / \rho_w$. Отсюда объем пор, занятых воздухом, равен $n_a = n - n_w = n - (1 - n) \omega \rho_s / \rho_w$. При замещении этого объема водой плотность грунта увеличивается на $n_a \rho_w = n \rho_w - (1 - n) \omega \rho_s$. Прибавляя эту величину к взвешенной плотности ρ' в начальный момент затопления (уравнение 1), получаем $\rho' = \rho - \rho_w + n \rho_w - (1 - n) \omega \rho_s$. Производя преобразования и учитывая, что степень водонасыщения S_r грунта равна

$$S_r = \frac{\omega \rho_s}{e \rho_w}, \quad (2)$$

где e — коэффициент пористости грунта, получаем общее выражение для взвешенной плотности грунта

$$\rho' = \rho - \frac{1 + S_r e}{1 + e} \rho_w. \quad (3)$$

¹ Зав. Лабораторией геомеханики Института геологических наук АН АрмССР.

В частном случае, для полностью водонасыщенного грунта, при $S_r=1$, из уравнения (3) получаем выражение, тождественное с уравнением (1).

В качестве примера рассмотрим случай, когда грунт на склоне водоохранилища до его заполнения имеет следующие характеристики: плотность твердых частиц $\rho_s=2650$ кг/м³, плотность грунта $\rho=1750$ кг/м³ и влажность $w=16\%$. Отсюда находим коэффициент пористости грунта $e=\rho_s(1+w)/\rho-1=0,756$ и степень влажности $S_r=w\rho_s/e\rho_w=0,561$. Пользуясь формулами (1) и (3), находим взвешенную плотность грунта в начальный момент $\rho'_n=750$ кг/м³ и в конечный момент $\rho'_k=940$ кг/м³, т. е. увеличение на 190 кг/м³ или более чем на 25%.

ՄԱՍՆԱԿԻ ԶՐԱՀԱԳԵՑՎԱԾ ԳՐՈՒՆՏԻ ՎԵՐՋՆԱԿԱՆ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Պրոֆ. տեխնիկ. գիտ. դոկտոր Գեորգ Տեր-ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ¹

Ու ե ֆ եր ա տ. Մասնակի ջրահագեցված գրունտի ողողումից հետո ջուրը աստիճանաբար դուրս է մղում օդը ծակոտիներից, և սուզված ρ' խտությունը աճում է: Օդը ջրով լրիվ փոխարինելու դեպքում սուզված խտությունը կլինի $\rho'=\rho-(1+S_r e)\rho_w/(1+e)$, որտեղ ρ —գրունտի խտությունն է, e —ծակոտիներության գործակիցը, S_r —ջրահագեցման աստիճանը և ρ_w —ջրի խտությունը:

Մասնակի ջրահագեցված գրունտի ρ' խտությունը սուզված վիճակում որոշելու համար (1) բանաձևեր² կիրառումը, որտեղ ρ —գրունտի խտությունն է և ρ_w —ջրի խտությունն է, արդարացված է միայն ողողման ամենասկզբնական ժամանակաշրջանում, երբ գրունտում դեռ պահպանվում է օդը: Հետագայում օդը հեռանում է ծակոտիներից և փոխարինվում է ջրով. խոշոր ծակոտիներից օդը հեռանում է բշտիկների ձևով, որոնք վեր են բարձրանում ջրամբարից, իսկ փոքր ծակոտիներից՝ ծծանցված ջրի մեջ դանդաղ լուծման ձևով: Երկու դեպքում էլ մասնակի ջրահագեցված գրունտի բոլոր ծակոտիները ժամանակի ընթացքում լցվում են ջրով, որի հետևանքով սուզված խտությունը աճում է ըստ (1) բանաձևի հաշվածի հետ համեմատ:

Այդ աճի հաշվարկի համար նշենք n —գրունտի ընդհանուր ծակոտիկներությունը, n_w —ջրով զբաղեցված ծակոտիների ծավալը, n_a —օդով զբաղեցված ծակոտիների ծավալը, $n=n_w+n_a$: Ծավալի մեկ միավորում կարծր մասնիկների մասսան հավասար է $(1-n)\rho_s$, որտեղ ρ_s —նրանց խտությունն է:

Գրունտի նույն ծավալում ջրի մասսան հավասար է $(1-n)\rho_w$, որտեղ ρ_w —ջրի խտությունն է. դրա ծավալը կլինի $n_w=(1-n)\rho_s/\rho_w$: Այստեղից օդով զբաղեցրած ծակոտիների ծավալը կլինի $n_a=n-n_w=n-(1-n)\rho_s/\rho_w$: Երբ այդ ծավալը տեղակալվում է ջրով, գրունտի խտության աճը կլինի $n_a\rho_w=n\rho_w-(1-n)\rho_s$: Ավելացնելով այդ մեծությունը ρ' սուզված խտությանը սկզբնական պահին (բնձ. 3), ստանում ենք $\rho'=\rho-\rho_w+(1-n)\rho_s$: Ձևափոխությունների կատարելով և հաշվի առնելով, որ գրունտի ջրահագեցման S_r աստիճանը արտահայտվում է (2) բանաձևով, որտեղ e —գրունտի ծակոտիկներության աստիճանն է, ստանում ենք գրունտի սուզված վերջնական խտությունը (բնձ. 3): Մասնակի դեպքում, լրիվ ջրահագեցված գրունտի համար, երբ $S_r=1$, բանաձև (3)-ից ստանում ենք բանաձև (1)-ը:

¹ ՀՍՍՀ ԳԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

² Բանաձևերը տե՛ս էջ 147:

ON FINAL SUBMERGED DENSITY OF A PARTIALLY SATURATED SOIL

GEORGE TER-STEPANIAN, Prof., Dr. Sc. (Eng.)¹

SYNOPSIS. After flooding of a partially saturated soil the air in voids is gradually replaced by water and the density of the soil is increased. After the complete replacement of the air by water the submerged density will be $\rho' = \rho - \rho_w(1 + S_r e)/(1 + e)$, where ρ is the density of the soil, e is the void ratio, S_r is the degree of saturation and ρ_w is the water density,

Application of the formula (1) for determination of the submerged density ρ' of a partially saturated soil², where ρ is the density of soil and ρ_w is the water density is justifiable for the very initial moment after the flooding only, whilst still the air in voids is preserved. Subsequently the air is removed from voids and replaced by water. The air from large pores will be removed rather quickly in form of bubbles which rise to the surface of the basin and from small pores by slow dissolution in the seeping water. In both cases all pores of a partially saturated soil will be filled by water after a time and the submerged density will increase as compared with that computed from Eq. (1).

For calculation of this increase we denote: n —total porosity of soil, n_w —volume of voids occupied by water and n_a —volume of voids occupied by air; $n = n_w + n_a$. The mass of solid particles in one unit volume is equal $(1 - n)\rho_s$, where ρ_s is their density. The mass of water in the same volume of soil is $(1 - n)w\rho_s$, where w is the water content of the soil; its volume is $n_w = (1 - n)w\rho_s/\rho_w$. Hence the volume of voids, occupied by air is equal $n_a = n - n_w = n - (1 - n)w\rho_s/\rho_w$. When this volume will be replaced by water, the density of soil will increase by $n_a\rho_w = n\rho_w - (1 - n)w\rho_s$. If we add this value to the submerged density ρ' in the initial moment of flooding (Eq. 1), we get $\rho' = \rho - \rho_w + n\rho_w - (1 - n)w\rho_s$. Transforming this equation and taking into consideration that the degree of saturation S_r is expressed by Eq. (2), where e is the voids ratio, we get the general expression (3) for the final submerged density of a soil. In special case of a fully saturated soil, at $S_r = 1$, equation (3) turns into equation (1).

¹ Head, Laboratory of Geomechanics, Geological Institute, Armen. Ac. Sc.

² Formulas see pp. 147.