УДК 624.131.5

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ЖЕСТКОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. М. Самедов, докт. техн. наук, С. В. Савченко, студ. (НТУУ "КПИ")

Розглянуто залежність коефіцієнтів жорсткості підвалин під підошвою підземних споруд від динамічних навантажень від рухомого складу. Отримано формули коефіцієнтів жорсткості підвалин, які залежать від осідання підземних споруд у часі.

Ключові слова: динамічне навантаження, коефіцієнт жорсткості, осідання, підвалини споруди, підземна споруда.

Рассмотрена зависимость коэффициентов жесткости оснований под подошвой подземных сооружений от динамических нагрузок от подвижного состава. Получены формулы коэффициентов жесткости оснований, зависящие от осадки подземных сооружений во времени.

Ключевые слова: динамическая нагрузка, коэффициент жесткости, осадка, основание сооружения, подземное сооружение.

The changes in rigidity coefficients of bases under underground structures foot under dynamic loads from rolling stock are examined. Formulas of rigidity coefficients of bases that depend on underground structures set in time are obtained.

Key words: dynamic load, rigidity coefficient, setting, structure base, underground structure.

В результате движения подвижного состава в основаниях подземных сооружений может иметь место осадка во времени, что влечет за собой изменение коэффициента жесткости длительно деформируемого грунтового основания.

Под влиянием внешних нагрузок (от собственного веса вышележащих грунтов, веса наземных зданий или сооружений, веса технологического оборудования, динамических нагрузок подвижного состава и т. д.) в основаниях подземных сооружений, состоящих из водонасыщенных или влажных грунтов, одновременно происходит деформация грунта вследствие уменьшения пористости и деформация ползучести скелета (твердых частиц) грунта и отжатия поровой воды. В результате действия этих нагрузок процесс отжатия поровой воды и деформация грунта сопровождается консолидационным уплотнением во времени. Этот процесс во многом зависит от коэффициента жесткости длительно деформируемого основания, который носит переменный характер. Изменение коэффициента жесткости оснований зависит от:

а) изменения деформационных параметров грунта (модуль деформации E_0, коэффициент Пуассона μ_0, коэффициент сжимаемости m_v);

б) изменения прочностных параметров (сила сцепления c, угол внутреннего трения φ);

в) изменения интенсивности действующих нагрузок P_i или давлений q_i;

г) состояния грунтового основания (плотные, средней плотности и рыхлые грунтовые основания);

д) осадки оснований (мгновенная, ползучесть во времени и полная осадка, состоящая из упругой и остаточной части осадки).

Для решения контактных задач под подошвой подземных сооружений необходимо знать величины переменного коэффициента жесткости грунтового основания *k(t)*.

Коэффициент жесткости во времени *k(t)* определяется по формуле

$$k(t) = \frac{P(t)}{S(t)}, \qquad (1)$$

где *P(t)* – давление на грунт под подошвой подземного сооружения в момент времени *t* от постоянных, временных и кратковременных нагрузок; *S(t)* – осадка основания подземных сооружений в отрезок времени *t*.

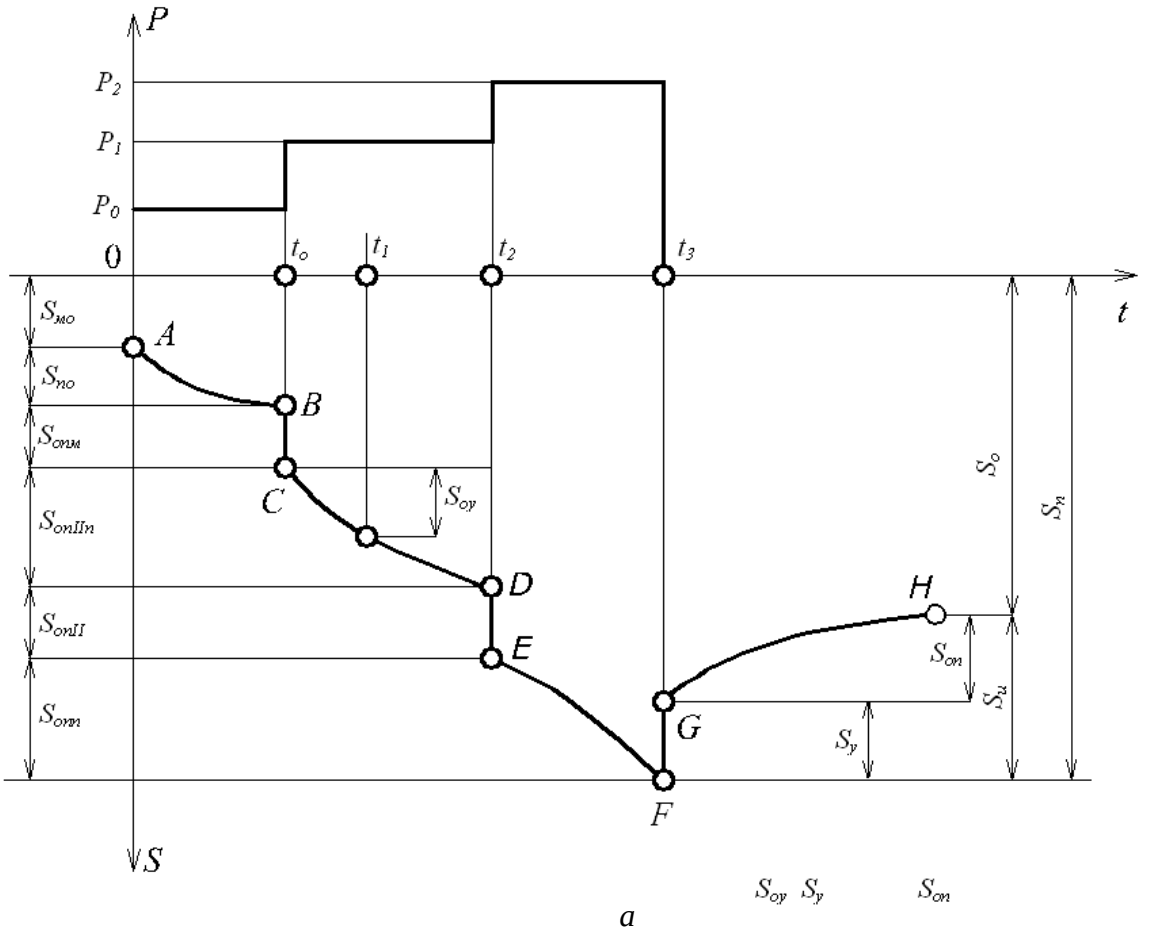
Без учета времени коэффициент жесткости грунтового основания может быть определен с помощью модуля общей деформации E_0 и коэффициента Пуассона μ_0 для сводчатых конструкций с радиусом свода *r* выражением $k = \frac{E_0}{r(1+\ _0}$. В таких случаях коэффициент жесткости основания заменяется коэффициентом упругого отпора породы, находящейся за конструкциями тоннелей, и обозначается буквой *k*.

Допустим, нагрузка *P(t)* во времени t_0, t_1, t_2, t_3 возрастает от величины P_0 до P_1, а затем – до максимальной величины $P_{max} = P_2$. В момент времени t_3 происходит разгрузка (то есть подвижной состав переходит на другой участок тоннеля), как показано на рис. 1.

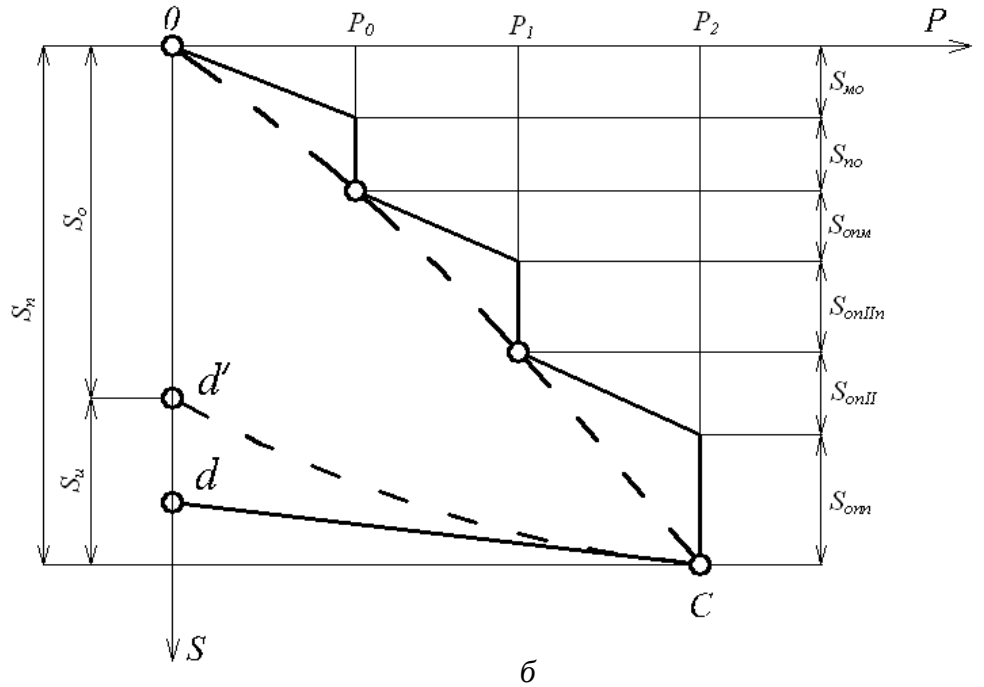
Этим нагрузкам соответствуют: I ступень нагрузки – мгновенная осадка $S_{мо}$ (отрезок OA), осадка ползучести $S_{по}$ (отрезок AB) и мгновенная осадка $S_{опм}$ (отрезок BC); II ступень нагрузки имеет вид установившейся ползучести, которая состоит из упругой части осадки $S_{оу}$ и оставшейся части ползучести $S_{опII}$ (отрезок CD); она заканчивается отрезком DE с осадкой $S_{опII}$. После отрезка DE начинается прогрессирующая ползучесть с осадкой $S_{опп}$ (отрезок EF). Мгновенное восстановление деформации при разгрузке состоит из упругой части деформации $S_у$ (отрезок FG) и деформации обратной ползучести $S_{оп}$ (отрезок GH). Вертикальные отрезки OA, BC, DE соответствуют мгновенным деформациям, возникающим в момент приложения нагрузки. Отрезок FG представляет собой мгновенно восстанавливающуюся деформацию при разгрузке (см. рис. 1).

Для определения коэффициентов жесткости, характеризующих переменную во времени жесткость основания на контакте с подошвой подземных сооружений, необходимо сначала найти осадку основания в разные моменты времени. При этом следует различать, как показано выше, в основном три вида осадок: мгновенную $S_{мо}$, конечную $S_к$ (полностью или условно стабилизированную) и текущую $S(t)_t$.

Второй вид осадок – конечные или полные $S_к$ – характеризуются нелинейной зависимостью *P–S* (на рис. 1, *б* пунктирная линия на отрезке оси).



а



б

Рис. 1. Диаграммы деформирования грунта во времени: *а* – зависимость осадок от нагрузок и времени; *б* – зависимость осадок от нагрузки

Под действием нагрузки от подвижного состава на отдельных участках под грунтовой подошвой подземных сооружений в течение некоторого времени может проявляться прогрессирующая ползучесть грунтового основания, приводящая грунт к разжижению или состоянию вязкой текучести. Если среднее давление под подошвой подземных сооружений не превышает предела пропорциональности, то прогрессирующая ползучесть отдельных участков основания быстро переходит в затухающую вследствие перемещения подземных сооружений и перераспределения контактных давлений. Эти обстоятельства характерны для многих слабых, влажных и водонасыщенных грунтовых оснований и должны быть учтены при расчете и проектировании подземных сооружений.

Полная осадка (или деформация) состоит из остаточной S_0 и упругой S_y составляющих, то есть

$$S_п = S_0 + S_y. \quad (2)$$

Наклонные сплошные линии (см. рис. 1, *б*) относятся к мгновенным деформациям, вертикальные сплошные – к деформациям ползучести, пунктирная *cd'* – деформации при разгрузке с полной ползучестью, а *cd* – с остаточной ползучестью. Полную осадку $S_п$ можно определить в лабораторных условиях при ступенчатой нагрузке после стабилизации осадки.

Если известно значение остаточной осадки S_0, то текущую осадку $S(t)_t$ в случае линейной ползучести можно определить по формуле

$$S(t)_t = S_0 \cdot f(t), \quad (3)$$

где *f(t)* – некоторая функция времени, изменяющаяся от нуля (при $t = 0$) до единицы (при $t = \infty$), то есть $0 \le f(t) \le 1$.

Тогда текущий коэффициент жесткости $k(t)_t$ в момент времени t может быть вычислен по формуле

$$k(t)_t = \frac{P(t)}{S(t)_t}, \quad (4)$$

где $S(t)_t$ – полная текущая осадка в момент времени t, состоящая из мгновенной (упругой) S_y и текущей $S(t)_t$ осадки. Для практических расчетов величину *f(t)* можно принять: при $t = 0{,}1$ года *f(t)* = 0,17; при $t = 1$ год *f(t)* = 0,47; $t = 10$ лет *f(t)* = 1,0.

Таким образом, при ступенчато возрастающей нагрузке от подвижного состава полную величину осадки можно определить как ползучесть скелета грунта при отжиме поровой воды или как деформацию, вызванную совместным действием фильтрации и ползучести скелета.

Выводы

1. Определены коэффициенты жесткости оснований без учета времени с помощью модуля общей деформации и коэффициента Пуассона оснований для сводчатых подземных сооружений.

2. Получены коэффициенты жесткости оснований во времени под подошвой подземных сооружений путем использования значений полной текущей осадки от динамических нагрузок подвижного состава с учетом отжатой поровой воды.

3. Изучена прогрессирующая ползучесть грунтового основания, приводящая грунт к разжижению вследствие динамических нагрузок подвижного состава под подошвой подземных сооружений.

1. *Зарецкий Ю. К.* К расчету ленточных фундаментов на линейно-деформированном и неоднородном основании. – Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1965. – № 1.

2. *Клепиков С. Н.* Определение коэффициентов жесткости поверхности линейно-деформируемого основания. – Строительные конструкции. – Сб. научн. тр. – К.: Будівельник. – Вып. XXVI. – 1975. – С. 125–130.

3. *Самедов А. М., Зуевская Н. Н., Жданова Е. А.* О расчете подземных сооружений прямоугольного сечения на упругом и упруго-ползучем основании. – Міжвідомчий наук.-техн. зб. – К.: Будівельне виробництво. – Вип. 48/2007. – С. 32–39.

4. *Зарецкий Ю.К.* Теория консолидации грунтов. – М.: Наука, 1967. – 272 с.