



УДК 624.138: 624.131.23

Илизар Т. Мирсаяпов, В.Р. Мустакимов

РАСЧЕТ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ, АРМИРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В настоящее время напряженно-деформированное состояние грунтовых массивов, армированных вертикальными элементами в просадочных породах при природной влажности ($W < W_{sl}$) и после замачивания ($W > W_{sl}$), изучено недостаточно. Отсутствует единая методика расчета.

Анализ экспериментальных и теоретических исследований [1, 2, 3] и исследований авторов [4, 5, 6] позволяет сформулировать применительно к оценке несущей способности и деформативности просадочного грунта, армированного вертикальными элементами, следующие предпосылки: напряженно-деформированное состояние основания из просадочных грунтов, армированное вертикальными элементами, принципиально отличается от естественного основания и свайного основания; принимается гипотеза неразрывности просадочных деформаций; в условиях напряженного состояния при $W < W_{sl}$ просадочные грунты рассматриваются как упругая среда с закономерностями, описываемыми уравнениями линейного деформирования; принимается, что просадка S_{sl} грунта зависит от влажности W грунта, а степень влажности S_r - от продолжительности t увлажнения; напряженно-деформированное состояние увлажненных лессовых грунтов описывается закономерностями теории линейной наследственной ползучести; процесс просадки представляется как одномерное течение элементов структуры грунта в пределах некоторой ограниченной области увлажнения; степень дисперсности минеральных

частиц структуры грунта, приводящая к образованию пластических деформаций, зависит только от количества влаги и не зависит от изменения направления ее движения в грунте; массив просадочного грунта после его увлажнения выше W_{sl} рассматривается как сжимаемое упруговязкопластичное тело с квазиоднородной и квазиизотропной непрерывной структурой.

С учетом предпосылок приведенную прочность $R_{zp.red}$ и приведенный модуль деформации $E_{zp.red}$ армированного массива рассматриваем как функции:

$$R_{zp.red} = f_1(R_{zp}, R_{az}, A_{zp}, A_{az}, W, t, j, c, V_{zp}, V_{az}, P_{sl}), \quad (1)$$

$$E_{zp.red} = f_2(E_{zp}, E_{az}, A_{zp}, A_{az}, W, t, j, c, V_{zp}, V_{az}, P_{sl}) \quad (2)$$

Для изучения НДС, оценки несущей способности и деформативности армированного грунта принята модель массива, нагруженная фундаментом (рис. 1).

Расчет армированного грунтового массива выполняется из условия равновесия внешних сил N и внутренних напряжений $S_{zp.o}, S_{az.o}$ при ($W < W_{sl}$):

$$N = q_{zp} A_{zp.o}, \quad (3)$$

$$S_{zp.o} A = N \quad (4)$$

Начальные напряжения в грунтовой части $S_{zp.o}$ и в армоэлементах $S_{az.o}$ массива определяем в соответствии с расчетной схемой (рис. 2):

$$S_{zp.o} = \frac{N}{A}, \quad (5)$$

$$S_{az.o} = a \cdot S_{zp.o} = a \frac{q_{zp} A_{zp.o}}{A} \quad (6)$$

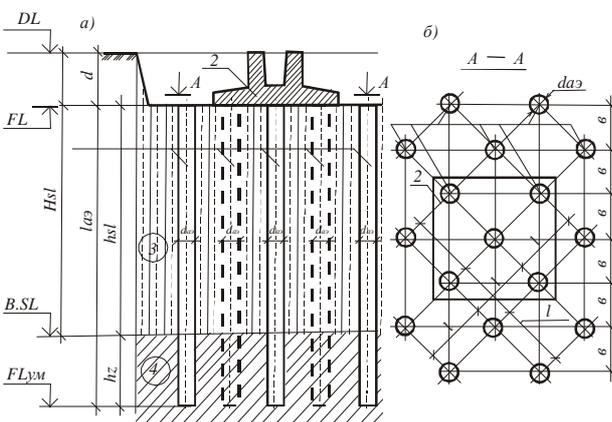


Рис. 1. Схема армирования просадочного грунта основания: а - разрез; б - план

1 - армоэлементы, 2 - фундамент, 3 - просадочный грунт, 4 - непросадочный грунт

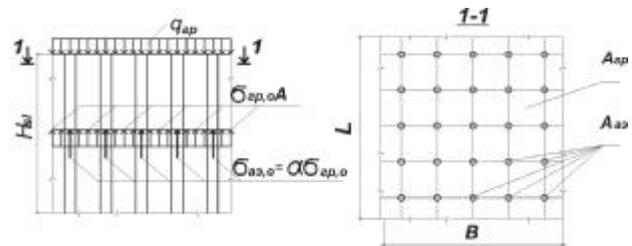


Рис. 2. Расчетная схема армированного просадочного грунта, при $W < W_{sl}$



Суммарные напряжения в грунте с учетом веса грунта не должны превышать величины эквивалентного расчетного сопротивления $R_{zp}^{экс}$ грунта

$$S_{zp.o} + S_{zg} \leq R_{zp}^{экс} \quad (7)$$

В свою очередь, $R_{zp}^{экс}$, армированного вертикальными элементами массива

$$R_{zp}^{экс} = \left[R_{zp} \frac{A_{zp} - A_{a3}}{A_{zp}} + R_{a3} \frac{A_{a3}}{A_{zp}} \right], \quad (8)$$

где R_{zp} - расчетное сопротивление грунта, по СНиП 2.02.01-83* при $W < W_{st}$,

R_{a3} - прочность армирующих элементов,

A_{zp} - площадь грунтового массива, определяемая границами армирования.

Деформативные свойства армированного грунта оцениваются эквивалентным модулем деформации $E_{zp}^{экс}$ с учетом влияния функций, учитывающих глубину γ_{ei} и площадь γ_{mi} армирования массива:

$$E_{zp,m}^{экс} = \left[\frac{E_{zp} (A_{zp} - A_{a3})}{A_{zp}} + \frac{E_{a3} A_{a3}}{A_{zp}} \right] \cdot \gamma_{ei} + \gamma_{mi}, \quad (9)$$

здесь $\gamma_{ei} = 1 + 0,3(l_{a3}/h)$ и $\gamma_{mi} = 1,07[(m_1 - m_2)/m_1]$, m_1 и m_2 - соответственно, коэффициенты армирования грунта с количеством n и одним элементом.

После замачивания просадочного грунта при $q_p > P_{st}$ и $W > W_{st}$ прочность и деформативность армированного грунтового массива изменяется. Механизм возникновения деформаций просадки обусловлен возникновением и одновременным развитием двух реологических процессов: нарастанием пластических необратимых деформаций и уменьшением прочности грунта при постоянной нагрузке и влажности. Так как просадка происходит из-за существенного снижения показателей прочности этих грунтов при их увлажнении, то просадочная деформация рассматривается как следствие разрушения структуры лессовых грунтов в результате изменения их физического состояния и расчет основания, сложенного этими грунтами, помимо расчета по деформациям, производится по прочности. Армозлемент вследствие его сцепления с просадочным грунтом становится внутренней связью, препятствующей свободной просадке грунта. Стесненные деформации просадки грунта приводят к образованию в армированном грунтовым массиве дополнительных, внутренне уравновешенных напряжений ΔS_{zn} и ΔS_{a3} .

Под влиянием разности деформаций Δe_{sl} между свободной и стесненной просадкой в грунте с модулем деформации E_o^I возникают напряжения растяжения (10),

а в армозлементе с модулем упругости E_{a3} - упругие деформации $e_{sl,a3}$ и формируются дополнительные напряжения сжатия ΔS_{a3} (11).

$$\Delta S_{zn} = \Delta e_{sl} E_o^I = \frac{e_{sl} E_{a3}}{\frac{E_{a3}}{E_o^I} + \frac{1}{m}}, \quad (10)$$

$$\Delta S_{a3} = e_{sl,a3} E_{a3} = \frac{e_{sl} E_{a3}}{\left(\frac{E_{a3}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m} \quad (11)$$

Уравнение равновесия внутренних напряжений

$$\Delta S_{a3} A_{a3} = \Delta S_{zn} A_{zp}, \quad (12)$$

где A_{a3} , A_{zp} - суммарная площадь армозлементов и грунта;

$m = \frac{A_{a3}}{A_{zp}}$ - коэффициент армирования.

Полные напряжения в грунте $S_{zp}(t)$ и армозлементах $S_{a3}(t)$ имеют вид:

$$S_{zp}(t) = S_{zp.o} - \Delta S_{zn}, \quad (13)$$

$$S_{a3}(t) = S_{a3.o} + \Delta S_{a3}, \quad (14)$$

Вследствие проявления пластических деформаций просадочным грунтом в стесненных условиях происходит увеличение напряжений $S_{a3}(t)$ в армозлементах и уменьшение напряжений $S_{zp}(t)$ в грунте (рис. 3).

Вводим функции накопления напряжений в грунте $H_{S_{zp}}$ и армозлементе $H_{S_{a3}}$.

$$H_{S_{a3}} = 1 + \frac{e_{sl} E_{a3}}{\left(\frac{E_{a3}}{E_o} + \frac{1}{m} \right) m S_{a3.o}}, \quad (15)$$

$$H_{S_{zp}} = 1 - \frac{e_{sl} E_{a3}}{\left(\frac{E_{a3}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) S_{zp.o}} \quad (16)$$

Эквивалентная прочность $R_{zp}^{экс}$ массива с прочностью армозлемента R_{a3}

$$R_{zp}^{экс} = \frac{R_{zp}(t)}{H_{S_{zp}}} \cdot \frac{A_{zp} - A_{a3}}{A_{zp}} + \frac{R_{a3}}{H_{S_{a3}}} \cdot \frac{A_{a3}}{A_{zp}}, \quad (17)$$

В соответствии с теорией наследственной ползучести и учетом ядра ползучести $K(t-t) = d(t-t)^{-a_0}$ относительные деформации стесненной просадки $e_{sl,a}(t)$

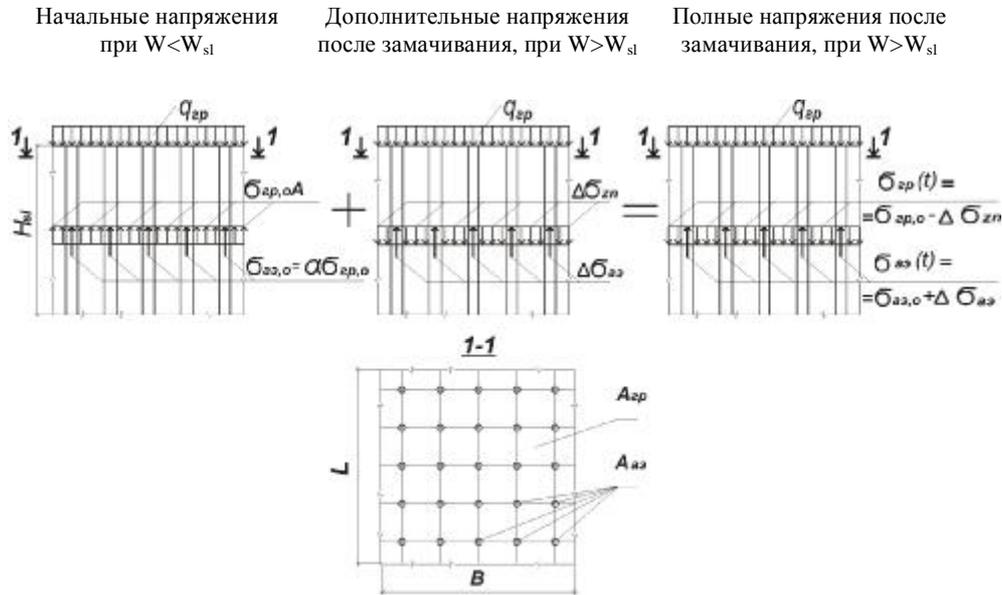


Рис. 3. Расчетная схема армированного просадочного грунта, при $W > W_{sl}$

$$e_{sl,a}(t) = \frac{s \left[1 + \frac{d}{1-a_o} t^{1-a_o} \right]}{\left(\frac{E_{a2}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m} \quad (18)$$

Эквивалентный модуль деформации $E_{zp}^{экс}$ армированного грунтового массива

$$E_{zp}^{экс} = \frac{s}{e_{sl,a}(t)} = \frac{\frac{s}{E_o} \left[1 + \frac{d}{1-a_o} t^{1-a_o} \right]}{\left(\frac{E_{a2}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m} = \frac{\left(\frac{E_{a2}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m E_o^I}{\left[1 + \left(\frac{d}{1-a_o} \right) t^{1-a_o} \right]} \quad (19)$$

Полная осадка армированного массива равна сумме осадки S и просадки S_{sl}

$$S_{II} = S + S_{sl} \quad (20)$$

Относительная деформация просадки армированного грунта

$$e_{sl,\dot{a}y,i}(t)_i = \frac{(s_{zg} + s_{zp}) \left[1 + \frac{d}{1-a_o} t^{1-a_o} \right]}{\left(\frac{E_{a2}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m} \quad (21)$$

Просадка грунта, армированного вертикальными элементами

$$S_{sl,a}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{(s_{zg} + s_{zp}) \left[1 + \frac{d}{1-a_o} t^{1-a_o} \right]}{\left(\frac{E_{a2}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right) m} \cdot h_i \cdot k_{sl,i} \quad (22)$$

Сопоставление результатов расчета с результатами натуральных испытаний просадочных грунтов [1] показало сходимость в пределах 10-15%.

Литература

1. Крутов В.И., Попсуенко И.К. Устранение просадок лессовых грунтов от их собственного веса путем армирования лессовой толщи // Основания, фундаменты и механика грунтов, №6, 1976. – С. 17 - 19.
2. Крутов В.И., Попсуенко И.К. Расчет армированных массивов. Труды института. Вып. 70. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Мустафаев А.А. Расчет оснований и фундаментов на просадочных грунтах. – М.: Высшая школа, 1979. – 368 с.
4. Мустакимов В.Р., Мирсаяпов И.Т. Совершенствование расчета грунта основания, армированного вертикальными элементами. // Международная научно-техническая конференция “Геотехника Беларуси: наука и практика”. “БУДАУНИЦТВА. СТРОИТЕЛЬСТВО. CONSTRAC TION” , №1-2. – Минск: БНТУ, 2003. – С. 131-145.
5. Мирсаяпов И.Т., Мустакимов В.Р. Напряженно-деформированное состояние, прочность и деформативность просадочных грунтов оснований, армированных вертикальными элементами // Труды международной научно-практической конференции по проблемам механики грунтов и фундаментостроению. Т. I и Т. II. – Пермь: ПГТУ, 2004. – С. 122-128.
6. Мирсаяпов И.Т., Мустакимов В.Р. Алгоритм расчета геомассивов. // Актуальные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений. Сб. научных статей. – Пенза, 2004. – С. 167-171.