

Расчет бетонного подстилающего слоя, армированного базальтопластиковыми стержнями

Нагрузка на пол — от автопогрузчика 4043М; грунт основания искусственный — песок. Грунтовые воды отсутствуют.

Транспорт - автопогрузчик 4043М, нагрузку на колесо и диаметр круга следа колеса взяты из «Рекомендаций по расчету полов с подстилающим слоем и по конструкциям металлических плит для полов производственных помещений».

На пол не предусмотрено воздействие повышенных температур и агрессивных сред.

Для искусственного основания из песка мелкого по табл. Ж.7 СП 29.13330.2011 $K_s=60\text{МН/м}^3=6000\text{т/м}^3$.

Для подстилающего слоя примем бетон класса В22,5 $R_b=132.5\text{кг/см}^2=1325\text{т/м}^2=13\text{МПа}$, $R_{bt}=9,94\text{кг/см}^2=99,4\text{т/м}^2=0,975\text{МПа}$, $E=290500\text{кг/см}^2=2,905\times 10^6\text{т/м}^2=28750\text{МПа}$ армированный стержнями базальтопластиковыми с $R_s=R_{sn}/\gamma_s=1300\text{МПа}/1,3=1000\text{МПа}$, $E=5,5\times 10^4\text{МПа}$.

При расчете жестких подстилающих слоев по прочности должно выполняться условие (Ж.7):

$$M_p < M_{ult}$$

где M_p - расчетный изгибающий момент в рассматриваемом сечении подстилающего слоя, кН·м/м;

M_{ult} - предельный изгибающий момент в рассматриваемом сечении подстилающего слоя, определяемый в соответствии с Ж. 2.6 СП 29.13330.2011.

Расчетный изгибающий момент M_p кН·м/м, в плите подстилающего слоя, расположенного на грунте основания, при действии на пол нагрузки от колес транспортных средств в соответствии с Ж. 1.12 СП 29.13330.2011 определяют по формуле (Ж.12):

$$M_p=K_3P_p=119,5 \times 73,38 \text{ кН} =8769\text{Н}=8,8\text{кН}$$

где P_p - расчетная нагрузка на след, определяемая по формуле (Ж.6 СП 29.13330.2011):

$$P_p=P_nKK_d\gamma_f=36,40\times 1,2\times 1,4\times 1,2=73,38 \text{ кН}$$

где P_n - нормативная нагрузка на расчетное колесо;

K - коэффициент, учитывающий влияние нагрузок от других колес транспортного средства, принимаемый равным: для транспортных средств с двумя осями $K=1,2$; с тремя и четырьмя осями $K=1,8$;

K_d - коэффициент динамичности, принимаемый равным; 1,2 - для транспортных средств с пневматическими шинами; 1,4 - для транспортных средств с литыми шинами из резины; 1,6 - для транспортных средств с металлическими колесами при наличии ободьев из полимерных материалов; 2,0 - для транспортных средств с металлическими колесами;

γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 1,2.

$K_3=119,5$ - коэффициент, принимаемый по таблице Ж.3 СП

29.13330.2011 в зависимости от отношения:

$$\rho = r_p / l = 0,125\text{м} / 0,582\text{м} = 0,215;$$

где r_p - для нагрузок простого вида расчетные размеры следа определяются по формуле (Ж.3 СП 29.13330.2011):

$$r_p = r + 2h_i = 25/2 + 2 \cdot 0 = 12,5\text{см}$$

где r - радиус круга, равновеликого площади следа опирания на поверхности покрытия;

h_i - толщина слоев пола, расположенных выше рассчитываемого подстилающего слоя.

l - упругая характеристика гибкости плиты, подстилающего слоя определяется по формуле (Ж.15):

$$l = .$$

где , - расчетный коэффициент постели грунтового основания, МН/м³, определяемый по Ж. 2.9;

B - жесткость сечения плиты, определим по формуле (7.31) СП 52-101-2003 как для железобетонного элемента на участке без трещин:

$$B = E_{bl} I_{red} = 24437,5 \cdot 2,81 \cdot 10^{-4} = 6,87 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

где E_{bl} - модуль деформации сжатого бетона, определяемый в зависимости от продолжительности действия нагрузки;

При непродолжительном действии нагрузки:

$$E_{bl} = 0,85 E_b = 0,85 \cdot 28750 = 24437,5 \text{ МПа}$$

При продолжительном действии нагрузки:

$$E_{bl} = E_{br} = E_b / (1 + \varphi_{b,cr})$$

где $\varphi_{b,cr}$ - принимают по таблице 5.5 СП 52-101-2003.

I_{red} - момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести с учетом отсутствия трещин допускается определять без учета арматуры:

$$I_{red} = I = bh^3/12 = 1 \cdot 0,15^3/12 = 2,81 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Предельный изгибающий момент M_{ult} для железобетонных сечений, кН·м/м, на единицу ширины сечения подстилающего слоя следует определять по формуле (Ж.19):

$$M_{ult} = A_s R_s = 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1000000 \cdot (0,1275 - 0,01/2) = 15,925 \text{ кН} \cdot \text{м/м}$$

где A_s - площадь сечения растянутой арматуры на единицу ширины сечения плиты, $A_s = 1,30 \text{ см}^2$ АКБ шаг 150мм, что больше минимального процента армирования $\mu = 0,001$ $A_s \geq 0,001 \cdot 100 \cdot 12 = 1,20 \text{ см}^2$;

R_s - расчетное сопротивление арматуры растяжению;

h_o - рабочая высота сечения (расстояние от сжатой грани сечения до центра тяжести растянутой арматуры рассматриваемого сечения), определяемая по формуле (Ж.20):

$$h_o = h - a - d_s/2 = 0,15 - 0,02 - 0,005/2 = 0,1275 \text{ м}$$

где h - толщина подстилающего слоя;

d_s — номинальный диаметр арматурных стержней;

a — толщина защитного слоя.

x - высота сжатой зоны бетона в сечении, определяемая по формуле (Ж.21):

$$x = \dots \text{ м}$$

где R_b - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию.

$$M_p = 8,4 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{ult} = 15,925 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Условие прочности выполняется.

Расчет железобетонных элементов по раскрытию трещин производят в тех случаях, когда соблюдается условие:

$$M = 7,3 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{crc} = 5,44 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

где M - изгибающий момент от внешней нагрузки относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через центр тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

$$M_{pII} = K_3 P_{pII} = 119,5 \times 61,15 \text{ кН} = 7307 \text{ Н} = 7,3 \text{ кНм}$$

$$P_{pII} = P_n K K_d \gamma_f = 36,40 \times 1,2 \times 1,4 \times 1 = 61,15 \text{ кН}$$

M_{crc} - изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин.

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W = 1450 \cdot 0,00375 = 5,44 \text{ кН м}$$

где $R_{bt,ser}$ - расчетные сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы;

W - момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна бетона, для изгибаемых элементов прямоугольного сечения момент сопротивления без учета арматуры определяют по формуле

$$W = bh^2/6 = 1 \cdot 0,15^2/6 = 0,00375 \text{ м}^3$$

При расчете железобетонных подстилающих слоев по ширине раскрытия трещин надлежит выполнять условие (Ж.22):

$$a_{crc} < a_{crc,ult}$$

где a_{crc} - ширина раскрытия трещин в расчетном сечении плиты, определяемая согласно СП 52-104-2003;

$a_{crc,ult}$ - допустимая ширина раскрытия трещин, принимаемая при непродолжительном раскрытии трещин равной 0,4 мм.

Ширину раскрытия нормальных трещин определяют по формуле:

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \sigma_s l_s / E_s = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 479505 \cdot 0,2 / 55000000 \text{ Па} = 0,0009 \text{ м} = 0,9 \text{ мм} > 0,4 \text{ мм}$$

$$a_{crc} = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 479505 \cdot 0,2 / 55000000 \text{ Па} = 0,00036 \text{ м} = 0,36 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм}$$

где σ_s - напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки изгибаемых элементов определяют по формуле:

$$\sigma_s = M(h_0 - y_c) \alpha_{s1} / I_{red} = 7,3(0,1275 - 0,012)4,925 / 8,66 \cdot 10^{-6} = 479505$$

где I_{red} - момент инерции приведенного поперечного сечения элемента, определяемый с учетом площади сечения только сжатой зоны бетона и площади

сечения растянутой;

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{sI} = (1 \cdot 0,012^3 / 12) + 1,73 \cdot 10^{-6} \cdot 4,925 = 8,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

где I_b , I_s - моменты инерции площадей сечения соответственно сжатой зоны бетона и растянутой арматуры относительно центра тяжести приведенного без учета бетона растянутой зоны поперечного сечения.

$$I_s = A_s (h_0 - y_{cm})^2 = 0,00013 (0,1275 - 0,012)^2 = 1,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

где y_{cm} - расстояние от наиболее сжатого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения без учета бетона растянутой зоны $y_{cm} = x_m = 0,012$,

y_c - расстояние от сжатой грани до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента, для изгибаемых элементов $y_c = x_m = 0,012$, где x_m - высота сжатой зоны бетона, для прямоугольных сечений только с растянутой арматурой высоту сжатой зоны определяют по формуле:

$$= 1,3 / (100 \cdot 12,75) = 0,001$$

α_{sI} - коэффициент приведения арматуры к бетону определяют по формуле:

$$\alpha_{sI} = E_s / E_{b,red} = 55000 \text{ МПа} / 11166,7 \text{ МПа} = 4,925$$

где $E_{b,red}$ - приведенный модуль деформации сжатого бетона, учитывающий неупругие деформации сжатого бетона и определяемый по формуле

$$E_{b,red} = R_{b,ser} / \varepsilon_{bI,red} = 16,75 \text{ МПа} / 0,0015 = 11166,7 \text{ МПа}$$

где $\varepsilon_{bI,red}$ - относительную деформацию бетона принимают равной 0,0015.

l_s - базовое (без учета влияния вида поверхности арматуры) расстояние между смежными нормальными трещинами. l_s принимают не менее $10d_s = 5 \text{ см}$ и 10 см и не более $40d_s = 20 \text{ см}$ и 40 см (для элементов с рабочей высотой поперечного сечения не более 1 м).

$$l_s = 0,5 A_{bt} d_s / A_s = 0,5 \cdot (0,075 \cdot 1) \cdot 0,005 / 0,00013 = 1,44 \text{ м} > 0,2 \text{ м}$$

где A_{bt} - площадь сечения растянутого бетона. В любом случае значение

$A_{\text{эф}}$

принимают равным площади сечения при ее высоте в пределах не менее $2a=0,04\text{м}$ и не более $0,5h=0,075\text{м}$.

Принимаем $l_s=0,2\text{м}$

ψ_s - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами; допускается принимать коэффициент $\psi_s=1$, если при этом условии $a_{\text{ср}} \leq a_{\text{ср,лит}}$, не удовлетворяется, значение ψ_s для изгибаемых элементов значение коэффициента ψ_s допускается определять по формуле

$$\psi_s=1-0,8M_{\text{ср}}/M=1-0,8 \cdot 5,44/7,3=0,4$$

φ_1 - коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки, принимаемый равным 1,0 при непродолжительном действии нагрузки;

φ_2 - коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры, принимаемый равным 0,5 для арматуры периодического профиля;

φ_3 - коэффициент, учитывающий характер нагружения, принимаемый равным 1,0 - для изгибаемых элементов.

Принимаем подстилающий слой из бетона В22,5 толщиной—15 см, армированный стержнями базальтопластиковыми АКБ ф6 (внутренний диаметр 5мм) шаг 150мм.