

Научно-техническая экспертиза: возможность уменьшения глубины заложения фундаментов диффузионного отделения

Scientific and technical expertise: possibility of reducing the depth of foundation of the diffusion compartment

Хрянина О.В.

канд. техн. наук, доцент кафедры "Геотехника и дорожное строительство"
ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет архитектуры и
строительства
e-mail: olgahryanina@mail.ru

Hryanina O.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Geotechnics and
road construction", Penza State University of Architecture and Construction
e-mail: olgahryanina@mail.ru

Янгуразов Ю.Р.

магистр кафедры "Геотехника и дорожное строительство", ФГБОУ ВО
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Yangurazov Yu.R.

Master's Degree Student, Department "Geotechnics and road construction", Penza State
University of Architecture and Construction

Аннотация

Сахарная индустрия считается одной из самых технологичных, тяжелых и капиталоемких секторов экономики. Однако вложения в данную область продолжают повышаться. Значительные поставки сахара из-за границы стимулируют наше правительство в наращивании импортозамещения в этой отрасли и поддержании отечественной сахарной индустрии – финансировании, модернизации и реконструкции заводов за счет субсидий из госбюджета. Замена устаревшего оснащения на современное ведется в данный момент буквально на всех работающих заводах, правда с различным успехом.

Цель работы: исследование возможности уменьшения глубины заложения подошвы фундаментов диффузионного отделения Каменского сахарного завода с 4,25 м до 2,5 м.

Abstract

The sugar industry is considered one of the most technologically advanced, heavy and capital-intensive sectors of the economy. However, investments in this area continue to rise. Significant sugar supplies from abroad stimulate our government in increasing import substitution in this industry and in supporting the domestic sugar industry - financing, modernizing and reconstructing plants through subsidies from the state budget. Replacing outdated equipment with modern equipment is currently underway at literally all working plants, albeit with different success.

Материалы и методы

Данное исследование проведено на основании имеющихся материалов:

- задания администрации СУ ТЭЦ-1 на обследование грунтов основания строительной площадки диффузионного отделения Каменского сахарного завода;
- отчёта по инженерно-геологическим работам на промплощадке Каменского сахарного завода Пензенской области, выполненных ГПИ Гипросахпромом;
- рабочих чертежей диффузионного отделения Каменского сахарного завода, разработанных ЗАО Гипросахпром;
- натурального обследования грунтов основания строительной площадки диффузионного отделения;
- визуального обследования состояния несущих и ограждающих конструкций главного корпуса Каменского сахарного завода, к которому пристраивается диффузионное отделение;
- лабораторных испытаний образцов грунтов, отобранных с площадки строительства диффузионного отделения из шурфов с определением физико-механических характеристик, необходимых для расчета несущей способности грунтов основания;
- поверочных расчётов фундаментов диффузионного отделения Каменского сахарного завода по полученным в результате испытаний характеристикам грунтов.

Натурное обследование

Для натурального обследования состояния грунтов основания и отбора образцов грунтов для лабораторных исследований были отрыты два шурфа на площадке строительства диффузионного отделения завода. План расположения шурфов приведен на рис. 1. Шурфы были отрыты на глубине 3,2÷3,3 м. Виды грунтов и характер напластования слоёв грунта примерно соответствует отчёту по инженерным изысканиям, выполненным ГПИ Гипросахпром. Разрез грунтовой толщи в шурфах показан на рис. 2 и рис. 3.



Рис. 1. Схема расположения шурфов диффузного отделения

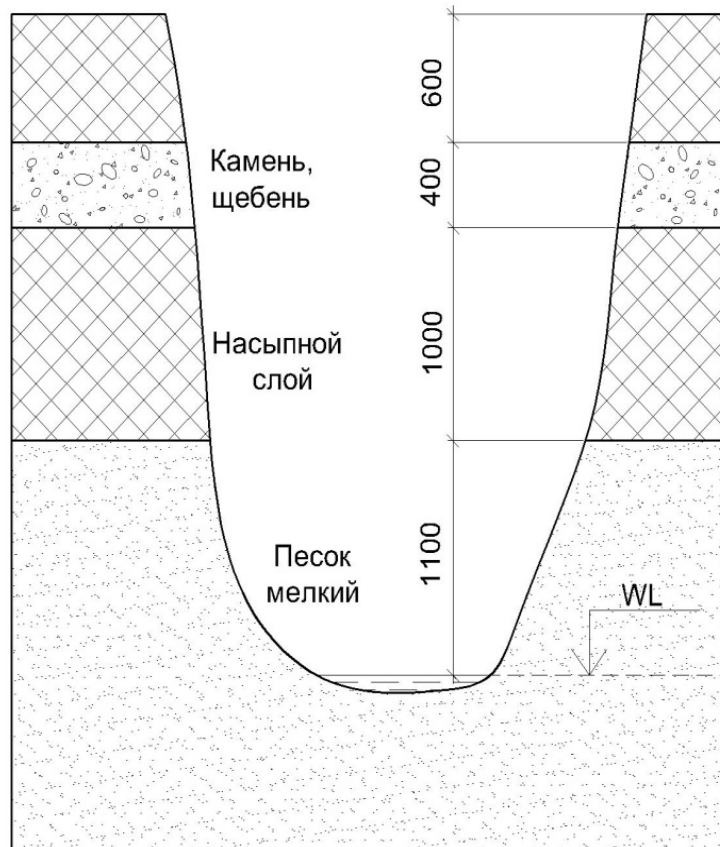


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез в шурфе № 1

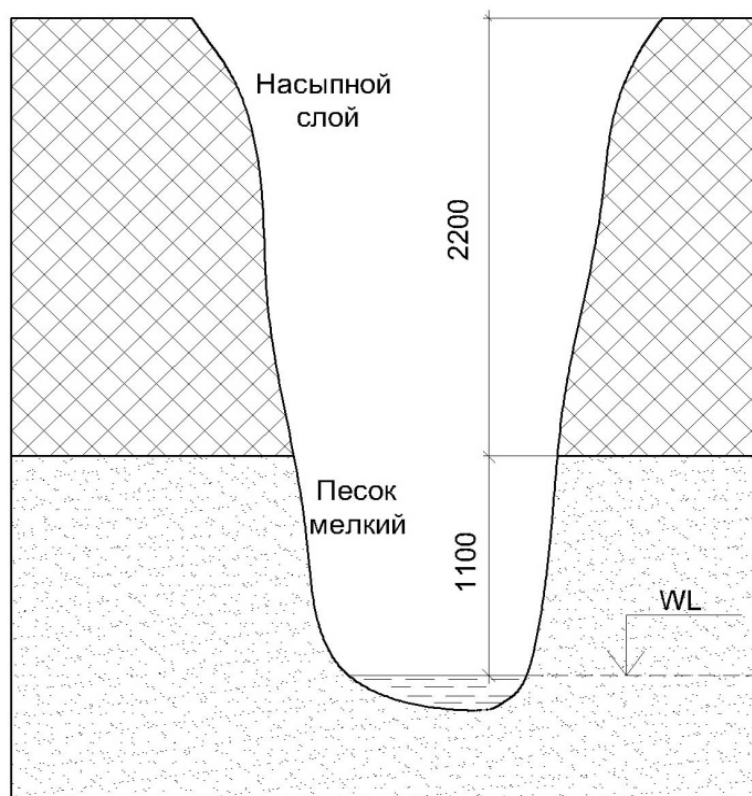


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез в шурфе № 2

По инженерно-геологическим колонкам скважины 16, находящейся в пределах застройки диффузионного отделения и скважин 10, 11 и 15, находящейся в непосредственной близости от площадки застройки диффузионного отделения, построены два геологических разреза, которые приведены на рис. 4 и рис. 5 [1, 2]. По этим разрезам следует, что слои грунтов площадки строительства имеют выдержанное практически горизонтальное расположение, грунтовые условия в соответствии с СП 22.13330.2016 пунктом 5.6.52 соответствуют табл. 5.11, что допускает не выполнять расчёт деформаций основания, если среднее давление по подошве фундаментов не превышает расчётного сопротивления грунтов основания.

Осмотр грунтовых условий в шурфах 1 и 2 показал, что на поверхности залегает насыпной мощностью $2,0 \div 2,2$ м, что позволяет из условия заглубления в несущий слой фундамента на глубину не менее 0,2 м предварительно назначить возможную глубину заложения подошвы фундаментов диффузионного отделения 2,5 м, т.е. исходя из инженерно-геологических условий площадки строительства [3]. Других факторов, влияющих на глубину заложения подошвы фундамента, не имеется.

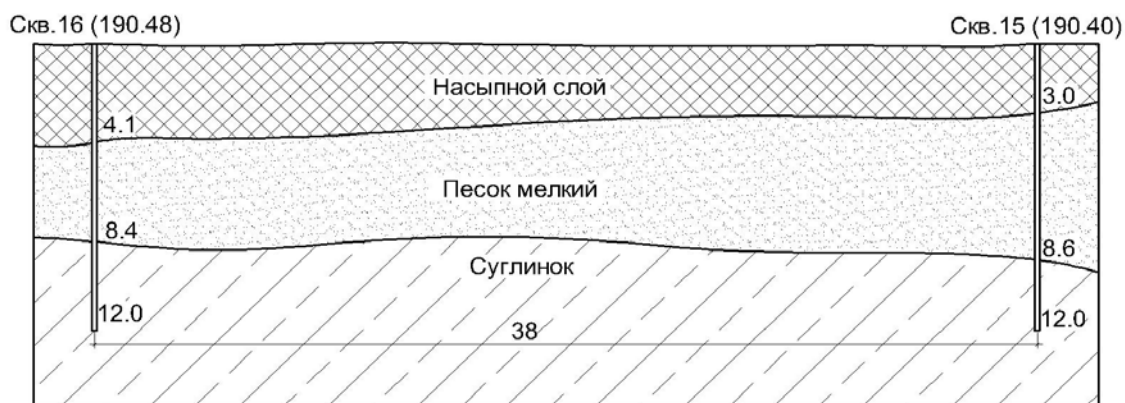


Рис. 4. Геологический разрез по скважинам 15-16

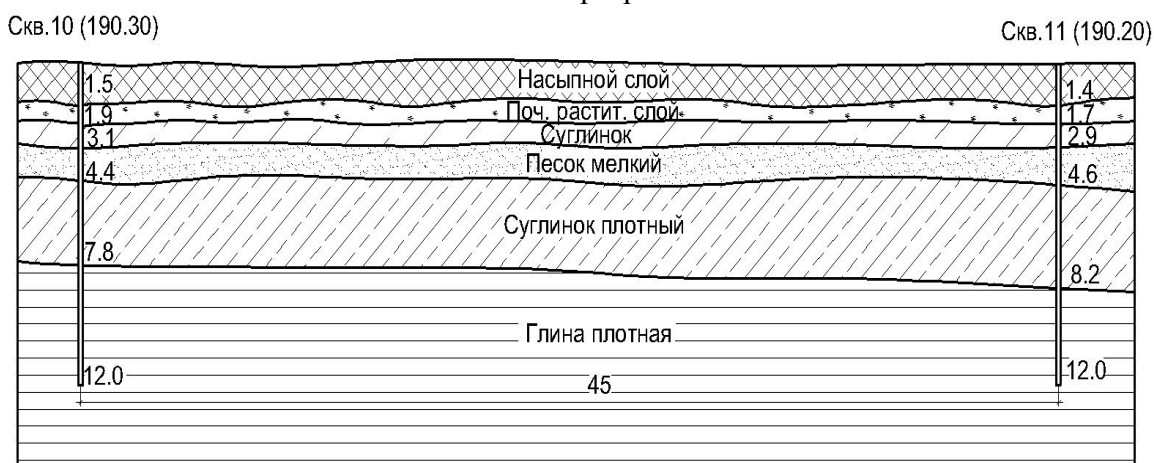


Рис. 5. Геологический разрез по скважинам 10-11

Определение физико-механических характеристик грунтов основания

Природная влажность. Природная влажность определялась весовым методом путём высушивания навески влажного грунта в сушильном шкафу. Всего было отобрано семь образцов грунта: четыре образца из шурфа 1 и три – из шурфа 2. Получены следующие результаты:

Таблица 1

Определение природной влажности грунта

№ выработки	Частные значения природной влажности, $W_i, \%$	Среднее значение природной влажности, $W, \%$.
Шурф 1.	15,3	14,6
	15,3	
	13,7	
	14,1	
Шурф 2.	13,2	14,3
	15,5	
	14,2	

Плотность грунта. Плотность грунтов определялась методом режущего кольца. Всего было отобрано 13 образцов грунта – 6 образцов из шурфа 1 и 7 образцов из шурфа 2. Результаты испытаний следующие:

Таблица 2

Определение плотности грунта в ненарушенном состоянии

№ выработки	Частные значения природной плотности грунта, $\rho_i, \text{г/см}^3$.	Среднее значение природной плотности грунта, $\rho, \text{г/см}^3$.
Шурф 1.	2,05	2,05
	2,06	
	2,02	
	2,04	
	2,07	
	2,07	
Шурф 2.	2,16	2,13
	2,18	
	2,11	
	2,09	
	2,13	
	2,13	
	2,13	

Характеристики грунтов определялись только для несущего слоя грунта, которым с глубины 2,0 м является песок мелкий.

Плотность минеральных частиц. Учитывая, что этот показатель меняется в незначительных пределах, он определяется по данным изысканий ЗАО «Гипросоахпром», равным $2,65 \text{ г/см}^3$.

Прочностные характеристики. Угол внутреннего трения и удельное сцепление определялись по результатам испытания грунтов на сдвиг.

Для испытания было отобрано 22 образца грунта и испытано 13 образцов на срезном приборе из полевой лаборатории Литвинова с площадью образца 25 см^2 и 9 образцов на срезном приборе Гидропроекта с площадью образца 40 см^2 .

Таблица 3

Результаты испытаний грунта в сдвиговом приборе Литвинова

Вертикальное (уплотняющее) давление $\sigma_i, \text{кг/см}^2$	Горизонтальное (сдвигающее) давление $\tau_i, \text{кг/см}^2$
0,50	0,36
1,00	0,70

Вертикальное (уплотняющее) давление σ_i , кг/см ²	Горизонтальное (сдвигающее) давление τ_i , кг/см ²
1,00	0,75
1,50	1,10
2,00	1,50
2,00	1,45
2,50	1,90
3,00	2,20
3,00	2,20
0,50	0,37
1,50	1,10
2,50	1,80
2,00	1,60

Таблица 4

Результаты испытаний грунта в сдвиговом приборе Гидропроекта

Вертикальное (уплотняющее) давление σ_i , кг/см ²	Горизонтальное (сдвигающее) давление τ_i , кг/см ²
2,00	1,425
2,00	1,45
1,00	0,875
1,00	0,675
1,00	0,725
3,00	2,20
3,00	2,35
2,00	1,55
3,00	2,30

Результаты определения прочностных характеристик в приборе Литвинова

Обработка результатов испытания производилась методом наименьших квадратов по формулам:

$$tg\varphi = \frac{n\sum\tau_i\sigma_i - \sum\tau_i\sum\sigma_i}{n\sum\sigma_i^2 - (\sum\sigma_i)^2} \quad (1)$$

$$C = \frac{\sum\tau_i\sum\sigma_i^2 - \sum\sigma_i\sum\tau_i\sigma_i}{n\sum\sigma_i^2 - (\sum\sigma_i)^2} \quad (2)$$

Имеем следующие значения входящих в формулы параметров:

$$\sum\tau_i = 17,03; \sum\sigma_i = 24,00; \sum\sigma_i^2 = 49,50; (\sum\sigma_i)^2 = 576,00; \sum\tau_i\sigma_i = 35,53;$$

$$\sum\tau_i\sum\sigma_i = 408,72; n = 13.$$

Получаем:

$$C = \frac{17,03 \cdot 49,5 - 24,0 \cdot 35,53}{13,0 \cdot 49,5 - 576,0} = 0$$

$$tg\varphi = \frac{13,0 \cdot 35,53 - 17,03 \cdot 24,0}{13,0 \cdot 49,5 - 576,0} = 0,787$$

$$\varphi = arctg 0,787 = 38^\circ$$

Результаты определения прочностных характеристик в приборе Гидропроекта

Имеем следующие значения входящих в формулы параметров:

$$\sum\tau_i = 13,55; \sum\sigma_i = 18,0; \sum\sigma_i^2 = 42,0; (\sum\sigma_i)^2 = 324,0; \sum\tau_i\sigma_i = 31,68;$$

$$\sum\tau_i\sum\sigma_i = 243,9; n = 9.$$

Получаем:

$$C = \frac{13,55 \cdot 42,0 - 18,0 \cdot 31,68}{9,0 \cdot 42,0 - 324,0} = 0$$

$$tg\varphi = \frac{9,0 \cdot 31,68 - 13,55 \cdot 18,0}{9,0 \cdot 42,0 - 324,0} = 0,763$$

$$\varphi = arctg 0,763 = 37,3^\circ$$

Графики сопротивления грунта сдвигу, построенные по результатам испытаний, представлены на рис. 6 и рис. 7.

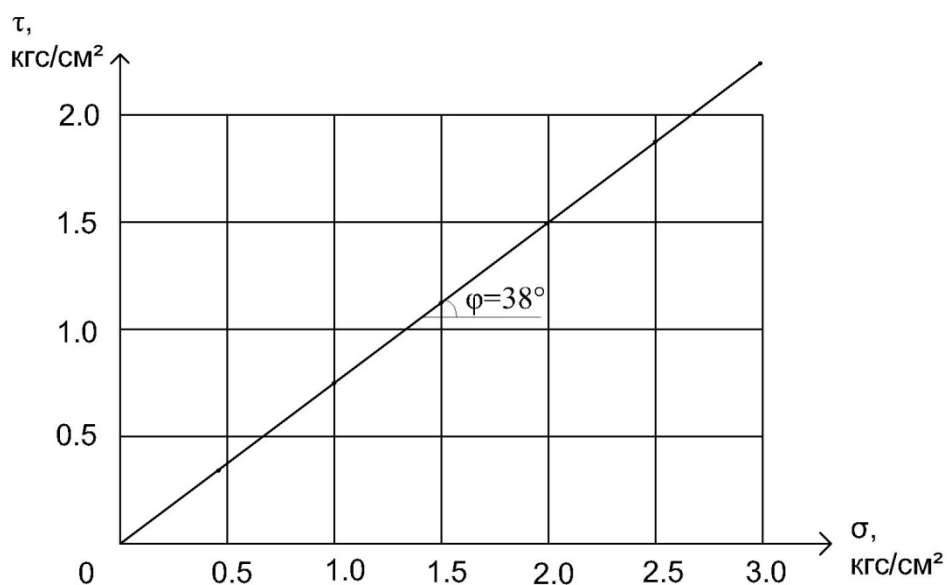


Рис. 6. График сопротивления грунта сдвигу по прибору Литвинова

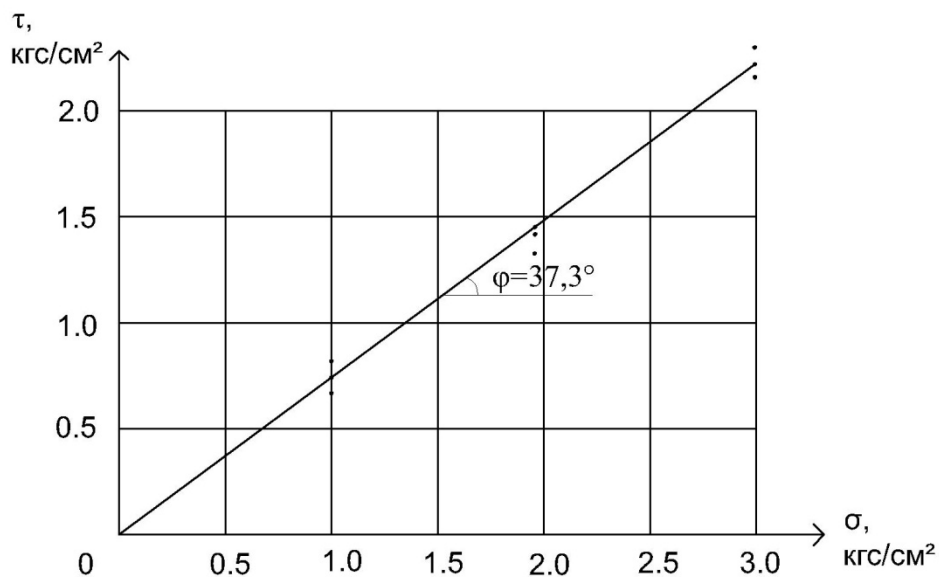


Рис. 7. График сопротивления грунта сдвигу по прибору Гидропроекта

Определение расчетных показателей грунта

Коэффициент пористости. По результатам определения физико-механических характеристик рассчитаем коэффициент пористости. Коэффициент пористости определяется по формуле:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} \left(1 + \frac{\omega}{100}\right) - 1 \quad (3)$$

Для образцов грунта, отобранных из шурфа 1:

$$e = \frac{2,65}{2,05} \left(1 + \frac{14,6}{100}\right) - 1 = 0,48$$

Для образцов грунта, отобранных из шурфа 2:

$$e = \frac{2,65}{2,05} \left(1 + \frac{14,3}{100}\right) - 1 = 0,42$$

В соответствии с ГОСТ 25100-2011, исследуемые песчаные грунты по плотности сложения относятся к плотным. Коэффициент пористости для песков мелких в этом случае должен быть менее 0,6.

Степень влажности. Степень влажности определяется по формуле:

$$s_r = \frac{\omega \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} \quad (4)$$

Согласно ГОСТ 25100-2011, по степени влажности пески находятся в водонасыщенном состоянии:

$$s_r = \frac{0,145 \cdot 2,65}{0,45 \cdot 1,00} = 0,85$$

Определение расчётного сопротивления грунта

При подборе размеров подошвы фундаментов в соответствии с СП22.13330.2016 среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать расчётного сопротивления грунта основания, которое определяется по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{K} \cdot [M_\gamma \cdot K_z \cdot b \cdot \gamma_{II} \cdot M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot C_{II}] \quad (5)$$

где

γ_{c1} – коэффициент условий работы грунтов основания;

γ_{c2} – коэффициент условий работы сооружения совместно с основанием;

K – коэффициент надёжности определения прочностных характеристик грунтов основания;

M_γ, M_q, M_c – коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения грунтов основания;

K_z – коэффициент, зависящий от ширины подошвы фундамента;

γ_{II} – осреднённое значение удельного веса грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента;

γ'_{II} – то же, залегающих выше подошвы фундамента;

C_{II} – расчётное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента;

d_1 – глубина заложения подошвы фундамента;

d_b – глубина подвала.

Для нашего случая имеем следующие значения прочностных параметров, входящих в формулу расчётного сопротивления грунта:

$$\gamma_{c1} = 1,3, \quad \gamma_{c2} = 1,1, \quad K = 1,0, \quad K_z = 1,0.$$

С учётом некоторой неточности в определении прочностных характеристик примем за нормативное значение угол внутреннего трения грунта основания фундаментов равным 36° . Тогда имеем равными:

$M_\gamma = 1,81, M_q = 8,24, M_c = 9,97, b = 2,1$ м, $\gamma_{II} = 20,0$ кН/м³, $\gamma'_{II} = 15,0$ кН/м³, $d_1 = 2,5$ м, $d_b = 0$ (подвал отсутствует), $C_{II} = 0$.

Минимальное расчётное сопротивление грунтов основания при заложении подошвы фундамента на глубине 2,5 м будет равно:

$$R = \frac{1,3 \cdot 1,1}{1,0} \cdot [1,81 \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot 20,0 + 8,24 \cdot 2,5 \cdot 15,0 + 0 + 0] = 1,43 \cdot (76,02 + 309,0) = 1,43 \cdot 385,0 = 550 \text{ кПа} = 55,0 \text{ т/м}^2.$$

Проверка достаточности принятых размеров подошвы фундаментов

Проверим достаточность размеров подошвы фундаментов, принятых по проекту ЗАО Гипросахпром, при меньшей глубине заложения подошвы. Возьмём наиболее нагруженный фундамент ФМ-4 размером в плане 3,6 х 4,2 м с нагрузкой по подошве 329,5 т и моментом 42,3 тм. Площадь подошвы фундамента равна 15,12 м². Тогда среднее давление под подошвой фундамента будет равно:

$$P = \frac{N}{A} = \frac{329,5}{15,12} = 21,8 \text{ т/м}^2,$$

что значительно меньше расчётного сопротивления грунта основания.

Проверим краевые напряжения под подошвой фундамента по формуле:

$$P_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{329,5}{15,12} + \frac{42,3 \cdot 6}{3,6 \cdot 4,2^2} = 25,8 \text{ т/м}^2$$

$$P_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{329,5}{15,12} - \frac{42,3 \cdot 6}{3,6 \cdot 4,2^2} = 17,8 \text{ т/м}^2$$

$P_{max}=25,8 \text{ т/м}^2$ значительно меньше $1,2 \cdot R$.

$P_{min}=17,8 \text{ т/м}^2$ больше 0.

Требования норм по проектированию фундаментов выполняются.

Фундамент ФМ-13 минимального размера 2,1 х 2,7 м с площадью подошвы $A=5,67 \text{ м}^2$. Вертикальная нагрузка равна $N=93,2 \text{ т}$, изгибающий момент 16,2 тм. Проверим напряжение по подошве. Среднее давление под подошвой будет равно

$$P = \frac{93,2}{5,67} = 16,4 \frac{\text{т}}{\text{м}^2} \ll R.$$

Краевые напряжения равны

$$P_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{93,2}{5,67} + \frac{16,2 \cdot 6}{2,1 \cdot 2,7 \cdot 2,7} = 22,7 \text{ т/м}^2$$

$$P_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{93,2}{5,67} - \frac{16,2 \cdot 6}{2,1 \cdot 2,7 \cdot 2,7} = 10,1 \text{ т/м}^2$$

$P_{max}=22,7 \text{ т/м}^2$ значительно меньше $1,2 \cdot R$

$P_{min}=10,1 \text{ т/м}^2$ больше 0.

Требования норм по проектированию фундаментов выполняются.

Фундамент ФМ-1а с размерами подошвы 3,0 х 3,6 м. Площадь подошвы $A=10,8 \text{ м}^2$.

Вертикальная нагрузка на фундамент равна 255,6 т, изгибающий момент 28,12 тм.

Среднее давление по подошве фундамента будет равно

$$P = \frac{255,6}{10,8} = 23,7 \frac{\text{т}}{\text{м}^2} \ll R$$

Краевые напряжения равны

$$P_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{255,6}{10,8} + \frac{28,12 \cdot 6}{3,0 \cdot 3,6 \cdot 3,6} = 28,0 \text{ т/м}^2$$

$$P_{min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} = \frac{255,6}{10,8} - \frac{28,12 \cdot 6}{3,0 \cdot 3,6 \cdot 3,6} = 19,4 \text{ т/м}^2$$

$P_{max}=28,0 \text{ т/м}^2$ значительно меньше $1,2 \cdot R$

$P_{min}=19,4 \text{ т/м}^2$ больше 0.

Требования норм по проектированию фундаментов выполняются.

Другие фундаменты проверять нет смысла, так как они или имеют площадь подошвы, или меньшие нагрузки.

Основные выводы и рекомендации

1. Выполненные исследования свойств грунтов основания и поверочные расчёты фундаментов показывают, что при уменьшении глубины заложения

подошвы фундаментов диффузионного отделения до 2,5 м требования строительных норм и правил по проектированию оснований и фундаментов выполняются и препятствий для устройства фундаментов на такой глубине не имеется.

2. При рытье котлованов под фундаменты в случае попадания подошвы фундамента в насыпной грунт, последний должен быть пройден, и фундаменты заглублены в несущий слой под бетонкой на глубину не менее 200 мм.

3. При устройстве фундаментов все требования по безопасности ведения работ, предусмотренные проектом ЗАО Гидросахпром по диффузионному отделению, должны быть выполнены.