
Проектирования и устройство оснований с помощью грунтоизвестковых подушек

Н.Н. Хасанов, В.Ф. Бай, К.Р. Рабиев

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Тюменский индустриальный университет

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Аннотация: В статье рассмотрены принципы проектирования и устройство оснований с помощью грунтоизвестковых подушек на просадочных грунтах в особых природно-климатических условиях Республики Таджикистан. Изучены и предложены рекомендации по проектированию оснований и фундаментов для гражданских зданий для территории республики.

Ключевые слова: Основания, фундамент, просадочный грунт, здания, сооружения, грунтоизвестковая подушка, котлован, уплотнения, прочность, плотность, давления.

Грунтоизвестковые подушки устраиваются путём тщательного перемешивания местных лёссовых грунтов с расчётным количеством молотой негашёной извести, отсыпки полученной смеси и её поверхностного уплотнения современными трамбуемыми машинами, тяжёлой трамбовкой или катками (гладкими, кулачковыми и т.п.) каждого слоя до плотности 1,50-1,6 т/м³.

Для устройства подушки из грунтоизвестковой смеси под фундаментами зданий и сооружений на лёссовых просадочных грунтах рекомендуется следующая технологическая схема производства работ:

- рытьё котлована глубиной, превышающей отметку заложения фундаментов на принятую толщину подушки;
- планировка дна котлована;
- поверхностное уплотнение дна котлована;
- приготовление грунтоизвестковой смеси;
- послойная укладка смеси;
- уплотнение слоя смеси катками до проектной плотности;
- контроль качества работ.

Выбор рациональной технологической схемы и порядка производства работ выполняется в зависимости от наличия комплекса машин и механизмов, объёма фронта работ и конструкции подушки.

Планировку дна котлована выполняют автогрейдерами с учётом отвода атмосферных осадков к приёмному колодцу - зумпфу. Поверхностное уплотнение дна котлована осуществляется самоходными катками на пневмоходу при оптимальной влажности грунта до проектной плотности. Толщина уплотняемого грунта дна котлована должна превышать толщину разрыхлённого слоя.

Смеси рекомендуется готовить с помощью нижеследующих машин и механизмов: комплектом многопроходных машин на месте укладки; однопроходными грунтосмесительными машинами типа Д-391 Б или передвижными смесителями типа Д-37а на месте укладки; в стационарных грунтосмесительных машинах типа Д С-50А (Д-709), Д-370 (Д-467) или бетоносмесительных типа С-573.

Для уплотнения слоя приготовленной смеси до установленной плотности количество проходов катка по одному следу назначается по расчёту. В начале 5-6 проходов целесообразно выполнять лёгкими 5-6 тонными катками на пневматическом ходу с понижением давления воздуха в шинах. Дальнейшее уплотнение производят тяжёлыми катками при давлении воздуха в шинах 4-6 атм. Уплотнение следует начинать с края, с постепенным смещением полосы к середине. Толщина одного слоя смеси принимается в зависимости от веса катка и принятой плотности смеси. Последующие слои подушки укладывают после уплотнения смеси предыдущего слоя до принятой плотности и проверки толщины слоя и плотности смеси.

Толщина подушки в основании фундаментов на просадочных лёссовых грунтах принимается по расчёту с учётом её прочностных параметров [1].

Количество смеси для грунтоизвестковой подушки определяется по формуле:

$$V_c = V_n \frac{\gamma_{ск.упл}}{\gamma_{ск.}}, \quad (1)$$

где V_c - объём смеси для подушки, м³;

V_n - объём грунта в подушке, м³;

$\gamma_{ск.упл}$ - плотность скелета грунта после уплотнения, тс/м³;

$\gamma_{ск.}$ - плотность скелета грунта, тс/м³.

Результаты лабораторных исследований указывают на увеличение прочностных свойств грунта нарушенной структуры при смешении с известью.

Для исследований использовалась молотая негашёная известь производства Душанбинского комбината строительных материалов с активностью 70-75%.

При извести с активностью 85-90%, производства известковой фабрики Яванского электрохимического завода, прочностные показатели возросли.

Оптимальная влажность уплотняемой смеси определяется по формуле:

$$W_0 = W_{опт} + 1,5 + 0,2D, \quad (2)$$

где $W_{опт}$ - оптимальная влажность, %;

D - дозировка извести (количество извести, % от веса грунта).

Величина оптимальной влажности приготавливаемой грунтоизвестковой смеси ($W_{опт.гр}$) определяется по формуле:

$$W_{опт.гр} \leq 0,8W_{м.м.в.} + K \cdot C + 1 - 2\%, \quad (3)$$

где C - количество вводимого вяжущего, % от массы укрепленного грунта;

K - эмпирический коэффициент, учитывающий расход воды на испарение за счёт тепла, выделяющегося при гашении молотой извести,

принимаемый для кальциевой извести $K = 1,43$, для магнезиальной $K = 1,27$, а для гидратной извести $K = 0,8 - 0,9$;

$W_{\text{м.м.в.}}$ - максимальная молекулярная влажность грунта.

Проектирование грунтоизвестковых подушек. Проект устройства грунтоизвестковой подушки должен содержать:

а) величину расчётного давления на подушку из смеси, как основание зданий и сооружений, в зависимости от её плотности и процентного содержания извести в ней;

б) толщину и плановые размеры уплотнённой грунтоизвестковой смеси под фундаменты или здания в целом;

в) проектную плотность смеси в подушке, вид грунта, количество и сортность извести, величину оптимальной влажности смеси в зависимости от принимаемых машин и механизмов;

г) технологию приготовления смеси в натуральных условиях, а также машины и механизмы для производства смеси.

Величина расчётного давления на подушку из смеси после её устройства определяется для случая полного водонасыщения в зависимости от её плотности и процентного содержания извести по таблице №1.

Значения модулей общей деформации грунтоизвестковых смесей в теле уплотнённой подушки рекомендуется принимать по таблице №2.

Толщина уплотнённой грунтовой подушки H определяется в зависимости от её прочностных показателей, нагрузок и конструктивных особенностей возводимого сооружения [2,3].

Размеры уплотнённой подушки в плане определяются в зависимости от её назначения, угла распределения давления в ней, вида и размеров фундамента [4,5]. Плотность смеси в подушке выбирается по её прочностным показателям, обеспечивающим нормальную пригодность сооружения в течение срока её эксплуатации.

Потребная площадь искусственного основания из грунтоизвестковой смеси вычисляется по нижеследующей формуле:

$$F = \frac{N}{R_0 - \gamma}, \quad (4)$$

где N - расчётная нагрузка на фундамент, кН;

R_0 - величина условного расчётного давления на просадочный грунт (таблица №5.4. прилож. 5 МКС ЦТ 50-01-2007), кПа;

γ - средняя плотность смеси в зависимости от её плотности, материала фундамента и грунта выше подушки, т/м³;

h - глубина заложения искусственного фундамента из грунтоизвестковой смеси, $h \leq h_0 + h_n$, м;

h_0 - глубина заложения запроектированного фундамента;

h_n - предварительно назначаемая толщина подушки, равная 0,6 - 1,0 м.

В зависимости от типа фундамента (ленточный или отдельно стоящий фундамент) определяется ширина подушки, исходя из потребной площади искусственного основания (рис.1.) [6,7].

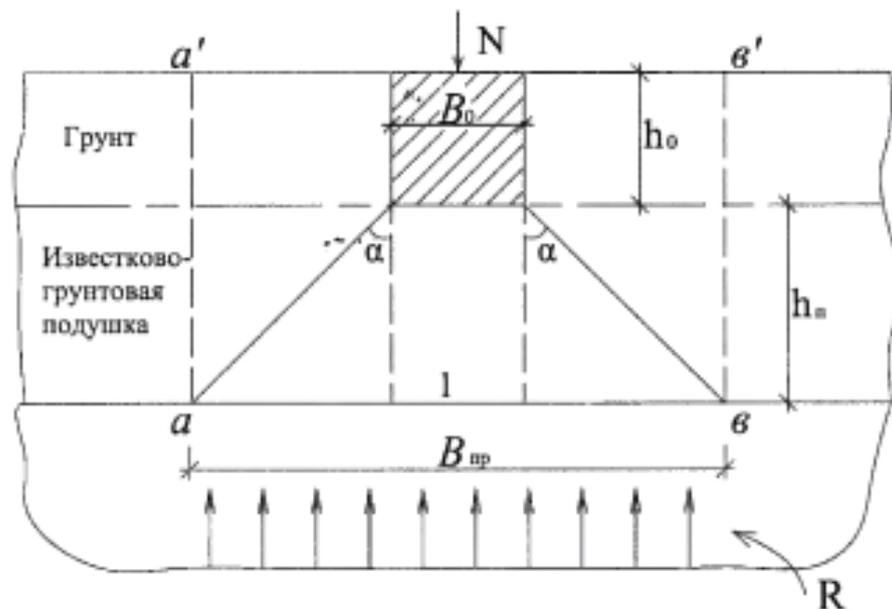


Рис. 1. Схема к определению размеров грунтоизвестковых подушек.

B_0 - ширина запроектированного фундамента;

h_0 - глубина заложения фундамента; α - угол жёсткости;

h_n - предварительно намечаемая толщина подушки;

a и a' в v' - контур условного фундамента.

Вычисленное значение B_n сравнивается B_{np} , которое определяется из выражения [8]:

$$B_{np} \leq B_0 + 2h_n \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где B_0 - ширина запроектированного фундамента, в м; h_n - толщина подушки, в м; α - угол жёсткости, принимаемый для подушки из смеси с плотностью до $1,6 \text{ т/м}^3$ равным 35° , а свыше $1,6 \text{ т/м}^3 = 40^\circ$.

При этом должно соблюдаться условие:

$$B_n \geq B_{np}, \quad (6)$$

Если указанное условие не выполняется, то следует увеличить толщину подушки. При соблюдении этого условия на выбранной глубине заложения искусственного основания закладывают необходимую ширину подушки и конструируют её из грунтоизвестковых смесей.

Производится проверка подстилающего слоя просадочного грунта по условию его прочности:

$$\sigma_{cp} = \frac{N + N_1 + N_2}{F_y}, \quad (7)$$

где σ_{cp} - напряжение под подушкой, в КПа;

N - расчётная нагрузка на фундамент, в кН;

N_1 - нагрузка, обусловленная собственным весом фундамента и грунта на его обрезах, в кН;

N_2 - нагрузка, обусловленная массой подушки и грунта на ней в пределах контура условного фундамента, в кН;

F_y - площадь условного фундамента, м^2 ;

R - величина расчётного давления на подстилающий лёссовый просадочный грунт, вычисленная по формуле 3.7. (МКС ЧТ 50-01-2007), кПа.

Таблица №1

Значения расчётного давления на основание, сложенное грунтоизвестковыми смесями

Район укрепления грунтов	Значения расчетного давления на основания в зависимости от плотности смеси и добавок извести (активность – 85-90%), в % веса грунта (МПа)					
	γ_f т/м ³	x %	4	6	8	10
Суглинки	1,50		2,30	2,00	-	-
г. Яван	1,55		2,45	2,10	-	-
(ЯЭХЗ)	1,66		2,55	2,20	-	-
Суглинки	1,50		-	1,90	2,10	-
г. Душанбе	1,55		-	2,10	2,20	-
	1,60		-	2,20	2,40	-

ПРИМЕЧАНИЕ. Значения расчётного давления на одноосное сжатие определялись на 90 сутки хранения в водонасыщенном состоянии.

Таблица №2

Значения модулей деформации грунтоизвестковых смесей

Район укрепления грунтов	Модуль деформации в зависимости от добавок извести (активность – 85-90%), в % массы грунта (МПа)					
	γ_f т/м ³	x %	4	6	8	10
Суглинки	1,50		64,0	60,0	-	-
г. Яван	1,55		69,0	65,0	-	-
(ЯЭХЗ)	1,60		73,0	70,0	-	-
Суглинки	1,50		-	62,0	70,0	-
г. Душанбе	1,55		-	67,0	75,0	-
	1,60		-	72,0	80,0	-

ПРИМЕЧАНИЕ. При активности извести меньше 80%, расчётные значения модулей деформации определяются опытным путём.

Окончательное определение ширины и высоты подушки устанавливается после расчёта по деформации, где должно соблюдаться условие [9,10]:

$$S_{рас} \leq S_{np} , \quad (8)$$

где $S_{рас}$ - осадка двухслойного основания, состоящего из грунтоизвестковой подушки и подстилающего слоя лёссового просадочного грунта;

S_{np} - предельная осадка для возводимого здания, определяемого по приложению 8 МКС ЧТ 50-01-2007.

Предварительные размеры фундаментов зданий и сооружений, возводимых на грунтоизвестковых подушках, должны назначаться из конструктивных соображений, или, исходя из условия, чтобы среднее давление на основание под подошвой фундамента было равно значению расчётного давления R_c , принимаемому по таблице №1.

Литература

1. Офрихтер В.Г., Пономарёв А.Б., Клевеко В.И., Решетникова К.В. Методы строительства армогрунтовых конструкций. М.: Издательство АСВ, 2013.152 с.

2. Рабиев К.Р., Файзуллозода Н.К., Хасанов Ф.Н. Архитектурно-строительное проектирование зданий и сооружений на лёссовых просадочных грунтах в условиях сложного рельефа // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. Душанбе, 2020. № 4 (52) С. 111-117.

3. Хасанов Н.Н., Рабиев К.Р. Механизм армирования грунтового основания для улучшения его несущей способности // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. Душанбе, 2021. № 2 (54) С. 142-145.

4. Бай В.Ф., Сафарян В.С., Еренчинов С.А. Эффективные фундаменты мелкого заложения // Инженерный вестник Дона, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825.

5. Бай В.Ф., Сафарян В.С., Еренчинов С.А. О методе экспериментального исследования напряженно - деформированного состояния грунтового основания // Инженерный вестник Дона, 2022, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7410.

6. Далматов Б.И. Механика грунтов основания и фундаменты. Л.: Стройиздат, 1988, 278 с.

7. Пузыревский Н.Н. Расчеты фундаментов. ЛНИП, 1923, 184 с.

8. Цытович Н.А., Березанцев В.Г., Далматов Б.И., Абелев М.Ю. Основания и фундаменты. М.: Высш. школа, 1970. 384 с.

9. Maltseva T.V., Nabokov A., Chernikh A., Reinforced sandy piles for low-rise buildings. Procedia Engineering. 2015. V. 117. pp. 239-245.

10. Maltseva T., Nabokov A., Novikov Y., Sokolov V., The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles. matec Web of Conferences. 2016. V. 73. pp. 01015.

References

1. Ofrikhter V.G., Ponomarov A.B., Kleveko V.I., Reshetnikova K.V., Metody stroitel'stva armogruntovykh konstruktsiy [Methods for the construction of reinforced soil structures]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 152 p.

2. Rabiev K.R., Fayzullozoda N.K., Hasanov F.N. Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyj issledovaniya. Dushanbe, 2020. № 4 (52). pp. 111-117.

3. Hasanov N.N., Rabiev K.R. Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyj issledovaniya. Dushanbe, 2021. № 2 (54). pp. 142-145.

4. Bay V.F., Safaryn V.S., Yerenchinov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825.



5. Bay V.F., Safaryn V.S., Yerenchinov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7410.
6. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov osnovaniya i fundamenty [Soil mechanics bases and foundations]. L.: Stroyizdat, 1998, 278p.
7. Puzyrevskiy N.N. Raschety fundamentov [Foundation calculations]. LNIP, 1923, 184 p.
8. Tsytovich N.A., Berezantsev V.G., Dalmatov B.I., Abelev M.YU., Osnovaniya i fundamenty [Bases and foundations]. M.: Vyssh. shkola, 1970. 384 p.
9. Maltseva T.V., Nabokov A., Chernikh A. Procedia Engineering. 2015. V. 117. pp. 239-245.
10. Maltseva T., Nabokov A., Novikov Y., Sokolov V. Matec Web of Conferences. 2016. V. 73. pp. 01015.