

**Методические рекомендации по проектированию оснований  
зданий и сооружений на структурно-неустойчивых грунтах**

Рекомендации по проектированию оснований зданий и сооружений на структурно-неустойчивых грунтах, Госархитекстрой РУз – Ташкент, 2008– 126 с

РАЗРАБОТАНО и ВНЕСЕНО: Научно-исследовательским, проектно-технологическим институтом оснований, фундаментов и подземных сооружений (ЗПЛИТИ).

Составители: к.т.-м.н. Частоедов Ю.Н., к.т.н. Усманходжаев И.И – ЗПЛИТИ, д.г.-м.н., профессор Садиков Я.С.- ТГТУ, д.т.н. Хасанов А.З. - СамГАСИ

УТВЕРЖДЕНО И ВВЕДЕНО В ДЕЙСТВИЕ техническим советом Госархитекстроя РУз, протокол №4 от 17.12.2007г.

**Методические рекомендации по проектированию оснований зданий и сооружений на структурно - неустойчивых грунтах**  
**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.....	5
<b>Раздел 1. Просадочные грунты.....</b>	<b>7</b>
1.1. Показатели просадочности грунтов .....	7
1.2. Показатели уплотняемости просадочных грунтов .....	9
1.3. Основные требования к проектированию оснований на просадочных грунтах .....	10
1.3.1. Основные принципы проектирования .....	10
1.3.2. Определение расчетного сопротивления.....	11
1.3.3. Проектно-изыскательские работы .....	11
1.3.4. Оптимальная влажность, максимальная плотность грунтов и параметры их обеспечения .....	16
1.3.5. Расчет количества воды для доувлажнения уплотняемых грунтов до оптимальной влажности .....	17
1.3.6. Расчет продолжительности замачивания уплотняемых грунтов в котловане .....	22
1.3.7. Сейсмические явления, возникающие при уплотнении просадочных грунтов механическими способами .....	23
1.4. Методы подготовки основания на просадочных грунтах .....	26
1.4.1. Рекомендации по выбору метода подготовки основания .....	26
1.4.2. Уплотнение тяжелыми трамбовками .....	28
1.4.3. Устройство грунтовых подушек .....	31
1.4.4. Устройство вытрамбованных котлованов .....	33
1.4.5. Предпостроечное замачивание .....	34
1.4.6. Уплотнение методом подводного взрыва .....	38
1.4.7. Уплотнение сваями .....	40
1.4.8. Закрепление грунтов методом силикатизации .....	43
1.4.9. Закрепление грунтов методом цементации .....	46
1.4.10. Закрепление грунтов методом смолизации .....	47
1.4.11. Закрепление грунтов обжигом .....	47
1.5. Контроль за качеством подготовки грунтов основания .....	48
1.6. Рекомендации по устранению просадочности лессовидных грунтов.....	51
<b>Раздел 2. Водонасыщенные песчаные и мелкодисперстные грунты.....</b>	<b>53</b>
2.1. Динамическая устойчивость водонасыщенных грунтов .....	53
2.2. Показатели динамической устойчивости .....	55
2.3. Факторы, влияющие на динамическую устойчивость грунтов .....	56
2.4. Методы оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов .....	63
2.4.1. Общие положения .....	63
2.4.2. Лабораторный метод .....	63
2.4.3. Полевой метод .....	64
2.4.4. Расчетный метод .....	64
2.5. Мероприятия по обеспечению динамической устойчивости водонасыщенных грунтов .....	66
2.5.1. Общие положения .....	67

2.5.2. Мероприятия по обеспечению устойчивости оснований .....	67
2.5.3. Мероприятия по обеспечению устойчивости откосов земляных сооружений .....	68
2.6. Метод сейсмоустойчивого основания .....	69
2.7. Основные положения по проектированию на водонасыщенных грунтах, с учетом их динамической устойчивости в сейсмических условиях.....	69
<b>Раздел 3. Насыпные (техногенные) грунты.....</b>	<b>74</b>
3.1. Общие положения .....	74
3.2. Классификация насыпных грунтов .....	75
3.3. Дополнительные требования к инженерно-геологическим исследованиям .....	77
3.4. Особенности проектирования оснований и фундаментов .....	80
Инженерная подготовка оснований .....	80
Глубина заложения фундаментов .....	85
Расчет оснований .....	86
Конструктивные мероприятия .....	87
<b>Раздел 4. Обратные засыпки .....</b>	<b>91</b>
4.1. Проектирование обратных засыпок .....	91
Общие положения. ....	
Факторы, влияющие на осадку грунтов обратных засыпок .....	92
Определение пригодности грунта для обратных засыпок.....	93
Требования к плотности грунтов .....	94
Выбор допускаемых давлений на обратные засыпки .....	99
4.2. Разработка проектных решений .....	104
Выбор машин и механизмов для уплотнения грунта.....	104
Определение толщины уплотняемого слоя и режима работы грунтоуплотняющих машин и механизмов.....	107
4.3. Технология производства работ по обратным засыпкам .....	112
Общие положения .....	112
Выполнение обратных засыпок котлованов с установленными фундаментами колонн.....	118
Выполнение обратных засыпок котлованов при сложных в плане фундаментах .....	119
4.4. Опытное уплотнение грунтов .....	120
4.5. Контроль качества и приемка работ по устройству обратных засыпок .....	121
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>123</b>

## ВВЕДЕНИЕ

РСТУз 25100-95 «Грунты. Классификация» не предусмотрен такой класс грунтов как «структурно-неустойчивые».

Между тем, с точки зрения устойчивости структуры грунтов такой класс следует выделять.

Название «структурно-неустойчивые» грунты чисто условное, так как при одних воздействиях (различных для различного вида грунтов), когда структурные связи еще не нарушены, грунты будут иметь вполне устойчивую структуру. При нарушении же структурных связей, при тех или иных воздействиях, грунты приобретают совсем иные свойства. Без должного учета этих свойств или явлений и их упреждения возможно полное разрушение оснований зданий и сооружений, возведенных на таких грунтах.

Профессор Н.А.Цытович (25) к структурно-неустойчивым грунтам относит: илы, структура которых легко нарушается при быстром возведении на них сооружений и при обычных нагрузках вследствие малой прочности их структурных связей: лессовые грунты, теряющие свою структуру и несущую способность при замачивании под нагрузкой, а возможно и от собственного веса при значительных толщах грунтов; пльвунные грунты, обычно мелкие песчано-пылеватые водонасыщенные, переходящие при тех или иных воздействиях, в частности, динамических в состояние разжижения с полной потерей своей несущей способности.

При определенных условиях, в условиях недоуплотненности к структурно-неустойчивым грунтам можно отнести и техногенные образования: например, насыпные, намывные, грунты обратных засыпок.

Следует отметить: что всякое нарушение устойчивости природной структуры или структурной связности грунтов (например, при производстве земляных работ) ведет к ухудшению свойств грунтов как оснований зданий и сооружений. Поэтому при производстве строительных, в частности, земляных работ необходимо учитывать следующие положения:

- необходимо выполнять земляные работы таким образом, чтобы свести к минимуму возможность нарушения структуры грунтов. Всякое разрыхление и перемятие грунтов резко ухудшает свойства нарушенного слоя, что ведет к дополнительным неравномерным и не предусмотренным проектом осадкам грунтов в основании сооружений и как следствие к деформации самих сооружений. Для структурно-неустойчивых грунтов это может привести к катастрофическим (аварийным) последствиям. Для таких грунтов особо тщательно должны выполняться все мероприятия, обеспечивающие сохранность их природной структуры, поэтому:

- при изучении свойств структурно-неустойчивых грунтов необходимо дополнительно производить исследования их структурной связности и общей устойчивости (для лессовых просадочных грунтов при замачивании, для рыхлых песчаных, и в частности, водонасыщенных при сотрясениях и прочих динамических воздействиях).

В настоящих методических рекомендациях основное внимание уделяется таким видам структурно-неустойчивых грунтов, как: лессовые просадочные,

водонасыщенные песчаные и мелкодисперсные, техногенные (насыпные, намывные и грунты обратной засыпки). Рассматриваются вопросы проектирования и строительства на таких грунтах с разработкой соответствующих мероприятий по обеспечению их устойчивости.

Наибольший интерес представляют лессовые просадочные грунты, которые занимают до 30% территории Узбекистана. При возведении зданий и сооружений на просадочных грунтах требуется сложная инженерная подготовка основания.

Не менее сложные проблемы возникают и при строительстве на плавунных или водонасыщенных песчаных грунтах. При этом выделяют два вида песков-плывунов:

а) “истинные плывуны” - пески, содержащие коллоидные частицы, придающие подвижность песку и,

б) “псевдоплывуны” - чистые пески, подвижность которых обуславливается гидрогеологическим режимом.

При этом, в состояние разжижения может перейти водонасыщенный как песчаный так и глинистый грунт в зависимости от тех или иных воздействий, и в частности, при динамических, в том числе сейсмических.

Все это вызывает необходимость разработки соответствующих мероприятий по обеспечению устойчивости таких грунтов в основании зданий и сооружений.

И наконец, техногенные образования, используемые в качестве основания, обратная засыпка пазух фундаментов при недостаточной их плотности сложения вызывают определенную сложность при строительстве.

Все вышеизложенное предопределило разработку настоящих методических рекомендаций по проектированию оснований зданий и сооружений на структурно-неустойчивых грунтах.

Методические рекомендации предназначены для специалистов и инженерно-технических работников проектно-изыскательских организаций;

- инженеров-геологов, проектировщиков, конструкторов, строителей, грунтоведов, а также студентов инженерно-строительных вузов и других специалистов, причастных к проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на структурно-неустойчивых грунтах.

# РАЗДЕЛ 1. ПРОСАДОЧНЫЕ ГРУНТЫ

## 1.1 ПОКАЗАТЕЛИ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ

По РСТУз 25100-95 “Грунты. Классификация” к просадочным грунтам относятся грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственной массы при замачивании водой или другой жидкостью дают просадку и при этом величина относительной просадочности  $\epsilon_{sl} \geq 0.01$ .

Просадочные грунты характеризуются:

- относительной просадочностью  $\epsilon_{sl}$  - относительным сжатием грунтов при заданном давлении после их замачивания;

- начальным просадочным давлением  $P_{sl}$  - минимальным давлением, при котором проявляются просадочные свойства грунтов, при их полном водонасыщении. Начальное просадочное давление соответствует условию, когда  $\epsilon_{sl} \geq 0.01$ ;

- начальной просадочной влажностью  $\omega_{sl}$  - минимальной влажностью, при которой проявляются просадочные свойства грунтов, т.е. при условии когда  $\epsilon_{sl} \geq 0.01$ .

Относительная просадочность грунтов  $\epsilon_{sl}$  определяется лабораторным методом на сжатие образцов грунта без возможности бокового расширения по формуле:

$$\epsilon_{sl} = \frac{h_{n.p} - h_{sat.p}}{h_{n.g}} \quad (1.1.1)$$

где,  $h_{n.p}$  и  $h_{sat.p}$  - высота образца природной влажности и после его полного водонасыщения ( $\omega = \omega_{sat}$ ), при давлении  $P$ , равном внешней нагрузке и собственного веса грунта  $P = G_{zp} + G_{zg}$  на рассматриваемой глубине

$h_{n.g}$  - высота того же образца природной влажности, при  $P = G_{zg}$  (равной нагрузке от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине).

При  $\epsilon_{sl} \geq 0.01$  грунт относится к просадочному, при  $\epsilon_{sl} < 0.01$  – к непросадочному.

Суммарная величина просадки грунта,  $S_{sl}$  рассчитывается по формуле:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \epsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot K_{sl,i} \quad (1.1.2)$$

где,  $\epsilon_{sl,i}$  - относительная просадочность  $i$  - го слоя

$h_i$  - толщина  $i$  - го слоя

$K_{sl,i}$  - коэффициент условий работы, принимаемый:

при ширине фундамента  $b \leq 12$  м, равным 1 для всех слоев грунта в пределах зоны просадки при  $b \geq 3$  м - вычисляется по формуле

$$K_{sl,i} = 0,5 + 1,5 (P - P_{sl,i}) / P_0 \quad (1.1.3)$$

где  $P$  - среднее давление под подошвой фундамента, КПа.

$P_{sl,i}$  - начальное просадочное давление  $i$  - го слоя, КПа

$P_0$  - давление, равное 100КПа.

При  $3\text{м} > b < 12\text{м}$  -  $K_{sl,i}$  определяется по интерполяции между значениями  $K_{sl,i}$  при  $b = 3\text{м}$  и  $b = 12\text{м}$ .

На застроенных территориях суммарная величина просадки как полная величина просадки  $S_{sl}^{i\ddot{i}e\dot{i}}$  состоит из суммы просадки от веса здания или сооружения  $S_{sl}^p$  и просадки от собственного веса грунта  $S_{sl}^{c.б.}$ :

$$S_{sl}^{нолн} = S_{sl}^p + S_{sl}^{c.б.} \quad (1.1.4)$$

В условиях Узбекистана полная величина просадки может составлять от 20 до 40 см при мощности просадочной толщи 5 - 10м и 40 - 100см, при мощности просадочной толщи 10 - 20м и более.

Грунтовые условия строительных площадок по степени просадочности согласно КМК2.02.01-98 разделяются на два типа:

I тип грунтовых условий по просадочности, в которых возможна в основном просадка грунтов от внешней нагрузки, а просадка грунтов от собственного веса отсутствует или не превышает 5см.

II тип грунтовых условий, в которых помимо просадки грунтов от внешней нагрузки возможна их просадка от собственного веса и размер ее превышает 5см.

На площадках с грунтовыми условиями I<sup>o</sup> типа по просадочности определяются только просадки от совместного действия нагрузки фундаментов и собственного веса грунта в пределах деформируемой зоны.

На площадках с грунтовыми условиями II<sup>o</sup> типа определяются просадки от совместного действия нагрузки от фундаментов и собственного веса грунта в пределах деформируемой зоны, а также просадки, возникающие в нижней части просадочной толщи от собственного веса грунта, с учетом веса планировочной насыпи.

При проектировании зданий и сооружений на просадочных грунтах нормативные значения характеристик просадочных грунтов: относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$ , начальное просадочное давление  $P_{sl}$ , начальная просадочная влажность  $\omega_{sl}$ , модули общей деформации при природной влажности  $E$  или в водонасыщенном состоянии  $E_{sat}$  принимаются как средние значение результатов лабораторных или полевых испытаний, а их расчетные значения принимаются с коэффициентом надежности по грунту, равным единице.

## 1.2 ПОКАЗАТЕЛИ УПЛОТНЯЕМОСТИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

Уплотняемость просадочных грунтов зависит от множества факторов, главнейшие из них: действующая нагрузка, начальная влажность и плотность сложения, прочностные характеристики, гранулометрический состав и мн.др. При этом наибольшая уплотняемость грунтов достигается при влажности равной оптимальной,  $\omega_{\text{опт}}$ .

Относительная просадочность и величина просадки находится в прямой зависимости от величины действующей суммарной нагрузки от веса здания или сооружения и собственного веса грунта. При величине начального просадочного давления 0.02 - 0.15 МПа, просадка грунта от собственного веса может проявиться с глубины 1.0 - 7.5 м.

Обычно, просадка грунта от собственного веса проявляется с глубины 3 - 5 м при начальном просадочном давлении 0.06 - 0.1 МПа.

Практически просадочная деформация грунтов в основании здания или сооружения начинается с той глубины, где суммарная нагрузка от веса сооружения и собственного веса грунтов превышает начальное просадочное давление.

Влажность просадочного грунта существенно влияет на процесс его уплотнения. Обычно уплотняемость грунтов повышается с увеличением его влажности.

По достижении определенной влажности плотность грунта приобретает свое максимальное значение и дальнейшее увеличение влажности приводит к снижению его плотности. Влажность, при которой достигается максимальная плотность уплотняемых грунтов называется оптимальной. Значение оптимальной влажности является тем диапазоном влажности, в пределах которой может быть получен наибольший эффект от уплотнения до определенной степени плотности грунтов. Максимальная плотность, которая достигается при оптимальной влажности грунтов называется оптимальной плотностью при данной влажности.

Просадочность грунтов имеет прямую зависимость от прочностных характеристик грунта (удельного сцепления и угла внутреннего трения).

При равных показателях физико-механических свойств грунтов просадочность грунтов зависит также от их гранулометрического и минералогического составов. Наибольшую просадочность обычно имеют легкие разновидности лессовидных грунтов (супеси) и наименьшую тяжелые (суглинки, глины).

Наименьшая просадочность наблюдается в грунтах гидрослюдистого состава, средняя - каолинитового и наибольшая - монтмориллонитового составов.

При уплотнении толщи просадочных грунтов в грунтовой зоне образуются обычно 3 зоны, мощностью  $H_1$ ;  $H_2$ ;  $H_3$ , отличающиеся между собой по плотности сложения:

$$H_1 + H_2 + H_3 = H - \Delta h \quad (1.2.1)$$

где  $H$  - первоначальная мощность просадочной толщи;

$H_1$  - интервал уплотнения основания до плотности скелета грунта не менее  $1.65\text{т/м}^3$ ;

$H_2$  - интервал переходной зоны с плотностью скелета грунтов от  $1.65\text{т/м}^3$  до естественной плотности;

$H_3$  - интервал неу уплотненных грунтов, сохранивших просадочные свойства;

$\Delta h$  - величина просадочной деформации (изменение высоты после стабилизации просадки или завершения уплотнения).

Назначаемый метод подготовки основания из просадочных грунтов должен обеспечить возможно максимальную мощность зоны  $H_1$  за счет уменьшения мощности зоны  $H_3$ .

## **1.3 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОСНОВАНИЙ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ**

### **1.3.1 Основные принципы проектирования**

Расчет оснований, сложенных просадочными грунтами производится в соответствии с требованиями расчета оснований как на непросадочных грунтах. При этом, деформации основания определяют суммированием осадок и просадок. Осадки основания определяются без учета просадочных свойств грунтов исходя из их деформационных характеристик, при установившейся влажности, а просадки в соответствии с требованиями раздела 1.1 (по формуле 1.1.4). При определении просадок должны учитываться

а) просадки от внешней нагрузки  $S_{sl,p}$ , происходящие в пределах верхней зоны толщи грунтов от подошвы фундамента до глубины, где суммарные вертикальные напряжения от внешней нагрузки и собственного веса грунта равны начальному просадочному давлению;

б) просадки от собственного веса грунта  $S_{sl,g}$ , происходящие в нижней зоне грунтов, где суммарные вертикальные напряжения превышают начальное просадочное давление  $P_{sl}$  до нижней границы просадочной толщи.

При проектировании оснований на просадочных грунтах, в случае их возможного замачивания должны предусматриваться соответствующие противопросадочные мероприятия, исключающие или снижающие до допустимых пределов просадки оснований и (или) уменьшающие их влияние на эксплуатационную пригодность сооружений.

В состав противопросадочных мероприятий входят:

- устранение просадочных свойств грунтов в пределах всей просадочной толщи;

- прорезка просадочной толщи глубокими фундаментами, в том числе свайными или массивами из закрепленного грунта;

- комплекс мероприятий, включающий частичное устранение просадочных свойств грунтов, водозащитные и конструктивные мероприятия.

Выбор мероприятий должен производиться с учетом типа грунтовых условий участка по просадочности, вида возможного замачивания, расчетной

просадки, взаимосвязи проектируемых сооружений с соседними объектами и коммуникациями.

Устранение просадочных свойств грунтов достигается:

а) в пределах верхней зоны просадки или ее части уплотнением тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек, вытрамбовыванием котлованов, химическим (силикатизация, смолизация, цементация и т.п.) или термическим закреплением (обжиг и т.п.)

б) в пределах всей просадочной толщи - глубинным уплотнением грунтовыми сваями, предварительным замачиванием грунтов основания, в том числе глубинными (подводными) взрывами, химическим или термическим закреплением.

### 1.3.2 Определение расчетного сопротивления

При не полном устранении просадочных свойств грунтов тем или иным методом, необходимо обеспечить, условия чтобы давление на кровлю подстилающего неуплотненного слоя не превышало величины начального просадочного давления  $P_{sl}$ , т.е.

$$P_{sl} \geq G_{zp} + G_{zq} \quad (1.3.1)$$

где  $G_{zp}$ ;  $G_{zq}$  – соответственно напряжение от веса здания или сооружения и собственного веса грунта.

Расчетное сопротивление  $R_s$  уплотненного или закрепленного грунта при условии отсутствия просадки подстилающего слоя определяется по формуле:

$$R_s = (P_{sl} - G_{zq} + a \times G_{zq,o}) / \alpha \quad (1.3.2)$$

где  $a$  – коэффициент уменьшения дополнительного давления от фундамента.

Расчет оснований на просадочных грунтах по деформации производится исходя из условия

$$S + S_{sl} \leq S_u \quad (1.3.3)$$

где  $S$  – величина осадки грунта основания здания или сооружения, определяемая как для обычных непросадочных грунтов

$S_{sl}$  – величина просадки грунта от веса здания или сооружения и собственного веса грунта, определяемая по формуле (1.1.2)

принимаемая как просадка отдельного фундамента, либо как средняя просадка основания здания.

$S_u$  – предельно допустимая величина совместной деформации основания или сооружения.

### 1.3.3 Проектно-изыскательские работы

1.3.3.1. Проект устройства основания на просадочных грунтах разрабатывается

на основании материалов инженерно-геологических исследований участка строительства, в зависимости от типа, вида и конструкции проектируемого здания или сооружения, от его осадочувствительности и местных условий строительства.

Исходными данными для разработки проекта основания и методов его подготовки служат:

- материалы инженерно-геологических исследований;
- размеры и конструктивные особенности зданий и сооружений, их условий эксплуатации;
- местоположение участка строительства, место в генплане населенного пункта, минимальное расстояние от осадко и сейсмочувствительных зданий и сооружений;
- техническая оснащенность строительной организации;
- возможность обеспечения водой.

Результаты инженерно-геологических исследований участка строительства должны освещать:

- геоморфологическое строение и рельеф участка;
- общее геолого-литологическое строение;
- гидрогеологические условия;
- мощность просадочной толщи, характеристику просадочных свойств грунтов по слоям или интервалам, возможной величины просадки от собственного веса грунтов, величину начального просадочного давления и начальной просадочной влажности, тип грунтовых условий участка по просадочности;
- физико-механические показатели свойств грунтов активной зоны, их засоленность и гранулометрический состав;
- коэффициент фильтрации грунтов.

В дополнение к материалам инженерно-геологических исследований, должны быть представлены значения:

- относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  от собственного веса грунта и нагрузки от фундаментов;
- величина начального просадочного давления,  $P_{sl}$ ;
- величина начальной просадочной влажности  $\omega_{sl}$ ;
- модуль общей деформации при природной влажности  $E$ , и в водонасыщенном состоянии  $E_{sat}$ ;
- степень изменчивости сжимаемости основания,  $a$  сложенных просадочными грунтами  $\frac{E}{E_{sat}}$ ;
- удельное сцепление,  $C$  и угол внутреннего трения,  $\varphi$  просадочных грунтов при природной влажности и состоянии водонасыщения ( $C_{sat}$ ;  $\varphi_{sat}$ );
- сцепление  $C_s$  и угол внутреннего трения  $\varphi_s$  просадочных грунтов, уплотненных до заданной плотности.

1.3.3.2. Размеры строительного котлована должны обеспечивать устойчивость несущей зоны основания фундаментов, а также обеспечивать устойчивость зданиям и сооружениям, в случае проявления просадочной деформации грунтов за пределами уплотненной зоны.

Для расчетов размеров уплотняемой площади строительных котлованов предлагается следующая зависимость

$$F = 1.2 \times a (b + 0.2 \times a) \quad (1.3.4)$$

где,  $a$  и  $b$  – ширина и длина проектируемого здания по наружной границе фундаментов.

При этом, размеры уплотняемой площади принимаются не менее чем на 1м больше размеров здания по наружным граням фундаментов в каждую сторону. Длина  $l_s$  и ширина  $b_s$  уплотняемой площади принимаются равными:

$$l_s = l + 0.5 (l - d); \quad b_s = b + 0.5 (b - d) \quad (1.3.5)$$

где,  $l$  и  $b$  соответственно длина и ширина фундамента;  
 $d$  – диаметр трамбовки.

Ширина уплотняемой полосы за пределами фундаментов должна быть не менее 0.2м с каждой стороны.

При II<sup>ом</sup> типе грунтовых условий по просадочности и величине просадки более 40см ширина полосы в каждую сторону определяется по формуле:

$$\Delta a = \frac{1}{4} H \quad (1.3.6)$$

где,  $H$  – мощность просадочной толщи.

Требуемая глубина уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками в основании фундаментов определяется из условия полного устранения просадочных свойств грунтов, в пределах всей деформируемой зоны или только ее верхней части на глубину, при которой суммарные осадки и просадки фундаментов не превышают предельных величин для данных зданий и сооружений.

Приближенная глубина уплотнения принимается  $h_s = kd$ , где  $d$  – диаметр трамбовки,  $k$  – коэффициент, принимаемый для супесей и суглинков 1.8, для глин 1.5.

Для сплошного маловодопроницаемого экрана глубина уплотнения должна быть не менее 1.5м.

При устройстве основания из грунтовых подушек ширину котлована  $A$  предлагается определять по формуле НИИОСП:

$$A = B (1 + 2k) \quad (1.3.7)$$

где  $B$  – ширина грунтовой подушки в котловане, м

$k$  – коэффициент учитывающий характер распределения горизонтальных деформаций в основании фундаментов и принимаемый при нагрузке от фундаментов в 150-200КПа  $k = 0.3$ ,  
при нагрузке 250-300КПа  $k = 0.35$ .

При опытных замочках котлованов в грунтах II<sup>го</sup> типа грунтовых условий по просадочности, при мощности просадочной толщи 20м, закрепленных грунтовыми сваями, ширина консоли котлована равна

$$L_k = \frac{1}{4} L \quad \text{и} \quad L_k = \frac{1}{3} H \quad (1.3.8)$$

где  $L_k$  – ширина консоли (ширина полосы от внешнего края фундаментов до границы уплотнения котлована), м

$L$  – высота проектируемого здания, м

$H$  – мощность просадочной толщи, м.

По данным приведенных формул ширина консоли при мощности просадочной толщи 10 - 20м составляет для 9 этажного здания 4 - 7м и для 4<sup>х</sup> этажного 3 - 5м.

Для условного фундамента шириной  $B_z$  предлагаются формулы:

$$B_z = \sqrt{F_z - a^2} - a; F_z = \frac{P}{P_{Gz}}; a = \frac{l - b}{2}, \text{ м} \quad (1.3.9)$$

где  $P$  – нагрузка от веса здания или сооружения;

$P_{Gz}$  – давление от собственного веса грунта на глубине  $Z$

$l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина фундамента.

1.3.3.3. Величина недобора при уплотнении просадочных грунтов методом предварительного замачивания устанавливается величиной суммарной просадки из условия полной ликвидации просадочности грунтов основания. Обычно, при полной стабилизации просадочной деформации ее величина равна расчетной величине просадки, определенной лабораторным методом или равной 80% от нее.

При уплотнении тяжелыми трамбовками величина недобора  $\Delta h$  определяется по формуле:

$$\Delta h = 1.2 h_s (1 - \rho_d / \rho_{d,s}) \quad (1.3.10)$$

где  $h_s$  – толщина уплотненного слоя, м;  $h_s = kd$

$d$  – диаметр трамбовки

$\rho_{d,s}$  – плотность скелета сухого грунта в пределах уплотненного слоя, т/м<sup>3</sup>

$\rho_d$  – плотность скелета сухого грунта до уплотнения, т/м<sup>3</sup>

«НИИОСП» для определения величины недобора предлагается следующая формула:

$$\Delta h = \frac{a_0 - a_s}{1 + a_0} \cdot h_s \cdot K_0 \quad (1.3.11)$$

где  $\Delta h$  – величина понижения трамбуемой поверхности в котловане, м;

$e_0$  – коэффициент, пористости грунта естественного сложения;

$e_s$  – коэффициент, пористости уплотненного грунта, равное  $e_s = 0.5 \div 0.65$ ;

$h_s$  – толщина уплотненного слоя, м;

$K_0$  – коэффициент, учитывающий боковое перемещение грунта при трамбовании и принимаемое равным 1.3.

Возможная толщина уплотняемого слоя  $H_1$  определяется конструкцией проектируемого сооружения, мощностью просадочной толщи и принятой методикой уплотнения грунта или устройства основания.

1.3.3.4. Толщина уплотненного слоя – это такой слой грунта, в котором достигается заданная проектом плотность в пределах котлована.

Толщина уплотняемого слоя грунта  $H_1$  при уплотнении механическими способами определяется по формуле

$$H_1 = \alpha \cdot B_{\min} \cdot K_1 \cdot K_2 \left(1 - \dot{a}^{-\beta \frac{G}{G_p}}\right) \quad (1.3.12)$$

где  $B_{\min}$  – минимальный поперечный размер поверхности контакта рабочего органа механизма с грунтом, м  
 $K_1$  – коэффициент, учитывающий отклонение влажности уплотняемого грунта от оптимальной влажности  $\omega_{\text{опт}}$ , при  $\omega = \omega_{\text{опт}}$ ,  $K_1 = 1.0$   
 $K_2$  – коэффициент, учитывающий заданную проектом плотность, если плотность не превышает 0.95 максимальной, при стандартной плотности  $K_2 = 1$   
 $e$  – основание натуральных логарифмов  
 $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, зависящие от вида и скорости изменения напряженного состояния; принимаются при укатке  $\alpha=2$ , трамбовке 1.1; для связных грунтов  $\beta=3.65$ .

При устройстве грунтовых подушек толщина грунтовой подушки  $h$  определяется по формуле НИИОСП

$$h = \frac{R_n^p - P_H}{P_H} \cdot B \quad (1.3.13)$$

где  $R_n^p$  – принятое расчетное давление на основание, КПа  
 $P_{sl}$  – величина начального просадочного давления, КПа  
 $b$  – ширина фундамента, м.

Степень уплотнения просадочных грунтов методом предварительного замачивания и другими механическими способами, определяется коэффициентом относительного уплотнения,  $K_{\text{отн}}$ .

$$K_{\text{отн}} = \frac{\rho_{d,s}}{\rho_d} \quad (1.3.14)$$

где  $\rho_{d,s}$  – плотность скелета сухого грунта уплотненного слоя

$\rho_d$  – плотность скелета сухого грунта естественного сложения.

В тех случаях, когда необходимая глубина уплотнения не может быть достигнута трамбующими механизмами, производится  $2^x$  или многослойное уплотнение.

Глубина отрыва котлована  $h_k$  определяется по зависимости:

$$h_k = h_{\text{пр}} - h_s - \Delta h \quad (1.3.15)$$

где,  $h_{\text{пр}}$  – проектная толщина уплотненного слоя основания

$h_s$  – толщина уплотненного слоя, полученная при использовании данного трамбующего механизма (трамбовки)

$\Delta h$  – величина недобора грунта до проектной отметки заложения фундамента.

### 1.3.4 Оптимальная влажность, максимальная плотность грунтов и параметры их обеспечения

Уплотнение просадочных грунтов механическими способами (грунтовыми и забивными ж/бетонными сваями, тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек, вытрамбовыванием и др.) рекомендуется производить при их оптимальной влажности. Оптимальной влажностью считается та влажность, при которой достигается максимальная плотность уплотняемого грунта,  $\rho_{d_{\max}}$

При полном заполнении пор грунта водой и  $S_r=1$

$$\rho_{d_{\max}} = \frac{\rho_s}{(1 + \omega_{\text{opt}} \rho_s)} \quad (1.3.16)$$

где  $\rho_s$  - плотность частиц грунта.

При уплотнении грунтов с влажностью меньшей или большей оптимальной происходит распыление или необратимое разрушение структурной связи или их разжижение.

При уплотнении грунтов при их оптимальной влажности ( $\pm 2\%$ ) происходит переупаковка частиц скелета грунта с созданием новой, более плотной структуры, сопровождается уменьшением пористости и «перегоном» имеющейся влаги в остаточные поры между частицами уплотненного грунта.

Пределом уплотнения грунта является заполнение всех пор водой, т.е. до степени влажности  $S_r=0.8-1.0$ , при этом масса грунта из 3<sup>х</sup> фазного состояния (частицы грунта + влага + газ) переходит в 2<sup>х</sup> фазную (частицы грунта + влага, заполнившаяся все поры между грунтовыми частицами).

Оптимальная влажность величина не постоянная и изменяется в зависимости от степени уплотнения грунта (коэффициента относительного уплотнения, определяемого по формуле (1.3.14)).

Определенной величине оптимальной плотности грунтов, достигаемой при их уплотнении приходится соответствующая величина оптимальной влажности.

Математическая зависимость оптимальной влажности грунтов  $\omega_{\text{opt}}$  выражается следующей зависимостью:

$$\omega_{\text{opt}} = \frac{\rho_s - \rho_{d_{\text{opt}}}}{\rho_s \cdot \rho_{d_{\text{opt}}}} \cdot S_{r(0.8)} \quad (1.3.17)$$

где,  $\rho_{d_{\text{opt}}}$  - оптимальная плотность скелета грунта, достигаемая уплотнением, т/м<sup>3</sup>

$S_{r(0.8)}$  - степень влажности, равная 0.8.

Значение оптимальной влажности грунтов в зависимости от плотности частиц грунта в пределах от 2.67 до 2.72 т/м<sup>3</sup> и достигаемой плотности их скелета в пределах 1.55-1.85т/м<sup>3</sup> приведены в таблице 1.3.1.

Значение предельной влажности, при превышении которой начинается разжижение уплотняемых грунтов приведены в таблице 1.3.2 и определяются по формуле:

$$\omega_{кр} = \frac{\rho_s - \rho_{d_{онм}}}{\rho_s \cdot \rho_{d_{онм}}} \cdot S_{r(1.0)} \quad (1.3.18)$$

где,  $S_{r(1.0)}$  - степень влажности, равная 1.0.

### 1.3.5 Расчет количества воды для доувлажнения уплотняемых грунтов до оптимальной влажности

Чем больше разница между значениями естественной и оптимальной влажностями, тем больше значение прилагаемых усилий и тем меньше эффект от затраченной энергии на уплотнение.

Для эффективного производства работ по уплотнению просадочных грунтов эти работы следует выполнять при их оптимальной влажности.

Доувлажнение уплотняемых грунтов основания производится замочкой их через строительный котлован и подачей расчетного количества воды  $Q$ :

$$Q = V \times W_{\text{деф}} \quad (1.3.19)$$

где,  $V$  – объем замачиваемого блока под котлован с учетом бокового растекания,  $\text{м}^3$

$W_{\text{деф}}$  – дефицит (недостаток) насыщения грунтов влагой, которая обеспечивается замачиванием, в долях единицы.

Таблица 1.3.1

#### ЗНАЧЕНИЯ оптимальной влажности грунтов при соответствующих значениях достигаемой плотности скелета и плотности частиц грунта в % %, при $S_r = 0.8$

$\rho_d$ ск.упл., $\text{т/м}^3$	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85
$\rho_s$ , $\text{т/м}^3$							
2.67	21.6	20.0	18.5	17.1	15.7	14.4	13.3
2.68	21.7	20.1	18.6	17.2	15.8	14.5	13.4
2.69	21.8	20.2	18.7	17.3	16.0	14.7	13.5
2.70	22.0	20.4	18.8	17.4	16.1	14.8	13.6
2.71	22.1	20.5	18.9	17.5	16.2	15.0	13.7
2.72	22.2	20.6	19.1	17.7	16.3	15.1	13.8
среднее 2.69-2.70	22.0	20.3	18.8	17.4	16.0	14.7	13.6

Таблица 1.3.2

#### ЗНАЧЕНИЯ предельной влажности грунтов при соответствующей оптимальной плотности скелета и плотности частиц грунта, при $S_r = 1.0$

$\rho_d$ ск.опт., $\text{т/м}^3$	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85
$\rho_s$ , $\text{т/м}^3$							

2.67	27.0	25.0	23.2	21.4	19.6	18.0	16.6
2.68	27.2	25.2	23.3	21.5	19.8	18.1	16.7
2.69	27.3	25.3	23.4	21.7	20.0	18.4	16.9
2.70	27.5	25.5	23.6	21.8	20.1	18.5	17.0
2.71	27.6	25.6	23.6	21.9	20.2	18.7	17.2
2.72	27.7	25.8	23.8	22.1	20.4	18.8	17.3
среднее 2.69	27.5	25.4	23.5	21.7	20.0	18.4	17.0

Необходимое количество воды  $A, \text{м}^3$  для получения оптимальной влажности определяется по формуле:

$$A = [1.2 \rho_d L(\omega_0 - \omega) / \rho_b] \cdot h_s \cdot F, \quad (1.3.20)$$

где,  $\rho_b$  - удельный вес воды, равный  $1 \text{т/м}^3$

$F$  – проектная площадь уплотненной зоны

$h_s$  – максимальная толщина уплотненного слоя

$\rho_d$  - плотность скелета грунтов естественного сложения

$\omega_0$  - оптимальная влажность

$\omega$  - природная (естественная) влажность грунтов, в долях единицы.

При свободном замачивании строительного котлована замоченный блок котлована квадратного сечения имеет форму шарового тела. Кривизна его бокового сегмента изменяется в зависимости от угла растекания фильтрационной воды. Уравнение объема замачиваемого блока при квадратном сечении котлована имеет вид:

$$V_{\hat{a}\hat{a}} = H \cdot a^2 + 0.52 \cdot H^3 \cdot \text{tg} \varphi \quad (1.3.21)$$

Уравнение объема замочки под  $4^x$  угольным разносторонним котлованом имеет вид:

$$V = H \cdot a \cdot b + [0.52 \cdot H^3 + 0.5(b-a) \cdot H^2] \cdot \text{tg} \varphi \quad (1.3.22)$$

где,  $H$  – мощность замачиваемой просадочной толщи ниже отметки дна котлована

$\varphi$  - угол кривой растекания к вертикали

$a$  - ширина котлована

$b$  – длина котлована.

Дефицит влажности грунтов определяется как разность влажности при их естественном состоянии и полном водонасыщении в весовом выражении следующим уравнением:

$$w_{\text{деф}} = (S_r \cdot \omega_n - \omega) \frac{\rho_d^\omega}{\rho_b} \quad (1.3.23)$$

где,  $S_r$  – степень влажности в замачиваемом блоке, равная оптимальному значению ее для уплотнения до стандартной плотности, принимается равной 0.8

$\omega_i$  - полная влагоемкость грунтов

$$w_n = \frac{1}{\rho_d^{ect}} - \frac{1}{\rho_s} \quad (1.3.24)$$

$\rho_d^\omega$  - плотность скелета грунта после замочки, т/м<sup>3</sup>

$\rho_d^{\hat{a}\hat{n}\hat{o}}$  - плотность скелета грунта до замачивания и просадки от собственного веса, т/м<sup>3</sup>

Расчетные значения полной влагоемкости грунтов -  $W_n$  в зависимости от плотности скелета грунта от 1.24 до 1.56т/м<sup>3</sup> и плотности частиц грунта от 2.67 до 2.73т/м<sup>3</sup> приведены в таблице 1.3.3.

Значение величины угла растекания  $\varphi$  в зависимости от коэффициента фильтрации грунтов  $K_f$  приведены в таблице 1.3.4.

При устройстве фильтрующих скважин, фильтруемая из скважины вода, полностью расходуется на замочку объема блока, ограниченного пограничной плоскостью замачивания фильтрующими скважинами. Уравнение объема замачиваемого блока имеет вид:

$$V_{\hat{n}\hat{e}\hat{a}} = H \cdot (B + D)(a + D) \quad (1.3.25)$$

при этом, уравнение расхода воды имеет вид

$$Q_{\text{скв}} = \omega_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}} \times H (B+D)(a+D) \quad (1.3.26)$$

где,  $W_{def}$ ,  $H$ ,  $a$ ,  $b$  – обозначено выше

$D$  - диаметр замачиваемого цилиндра каждой из фильтрующих скважин, равная расстоянию между соседними скважинами.

Таблица 1.3.3

**Расчетные значения полной влагоемкости лессовых грунтов -  $\omega_n$**   
**в зависимости от их плотности частиц  $\rho_s$  и плотности скелета  $\rho_d$**

$\rho_d \backslash \rho_s$	2.67	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72	2.73
1.24	0.435	0.437	0.438	0.440	0.441	0.442	0.444
1.25	0.425	0.427	0.428	0.430	0.431	0.432	0.434
1.26	0.419	0.421	0.422	0.424	0.425	0.426	0.428
1.27	0.412	0.414	0.415	0.417	0.418	0.419	0.421
1.28	0.406	0.408	0.407	0.409	0.410	0.411	0.413
1.29	0.400	0.402	0.401	0.403	0.404	0.405	0.407
1.30	0.395	0.397	0.398	0.400	0.401	0.402	0.404
1.31	0.388	0.390	0.391	0.393	0.394	0.395	0.397
1.32	0.380	0.384	0.385	0.387	0.388	0.389	0.391
1.33	0.377	0.379	0.380	0.382	0.383	0.384	0.386
1.34	0.371	0.373	0.374	0.376	0.377	0.378	0.380
1.35	0.366	0.368	0.369	0.371	0.372	0.373	0.375
1.36	0.361	0.363	0.364	0.366	0.367	0.368	0.370
1.37	0.355	0.357	0.358	0.360	0.361	0.362	0.364
1.38	0.351	0.353	0.354	0.356	0.357	0.358	0.360
1.39	0.344	0.346	0.347	0.349	0.350	0.351	0.353
1.40	0.339	0.341	0.342	0.344	0.345	0.346	0.348
1.41	0.335	0.337	0.338	0.340	0.341	0.342	0.344
1.42	0.329	0.331	0.332	0.334	0.335	0.336	0.338
1.43	0.324	0.326	0.327	0.329	0.330	0.331	0.333
1.44	0.319	0.321	0.322	0.324	0.325	0.326	0.328
1.45	0.312	0.314	0.315	0.317	0.318	0.319	0.321
1.46	0.310	0.312	0.313	0.315	0.316	0.317	0.319
1.47	0.305	0.307	0.308	0.310	0.311	0.312	0.314
1.48	0.301	0.303	0.304	0.306	0.307	0.308	0.310
1.49	0.296	0.298	0.299	0.301	0.302	0.303	0.305
1.50	0.292	0.294	0.295	0.297	0.298	0.299	0.301
1.51	0.287	0.289	0.290	0.292	0.293	0.294	0.296
1.52	0.283	0.285	0.286	0.288	0.289	0.290	0.292
1.53	0.279	0.281	0.282	0.284	0.285	0.286	0.288
1.54	0.275	0.277	0.278	0.280	0.281	0.282	0.284
1.55	0.270	0.272	0.273	0.275	0.276	0.277	0.279
1.56	0.267	0.268	0.269	0.271	0.272	0.273	0.275

Таблица 1.3.4

**Значения  $tg\varphi$  в зависимости от коэффициента  
фильтрации  $K_f$  и угла растекания  $\varphi$ , определенные графически**

$\varphi$ , в град.	$K_f$ , м/сутки	$tg\varphi$
30	5.5	0.58
31	5.0	0.60
32	4.5	0.62
33	4.0	0.65
34	3.5	0.67
35	3.0	0.70
36	2.5	0.73
37	2.0	0.75
38	1.5	0.78
39	1.0	0.81
40	0.9	0.84
41	0.8	0.87
42	0.7	0.90
43	0.6	0.93
44	0.5	0.97
45	0.4	1.00
46	0.3	1.04
47	0.2	1.07
48	0.1	1.11
49	0.09	1.15
50	0.08	1.19
51	0.07	1.23
52	0.06	1.28
53	0.05	1.33
54	0.04	1.38
55	0.03	1.43
56	0.02	1.48
57	0.01	1.54
58	0.008	1.60
59	0.006	1.66
60	0.005	1.77

### 1.3.6 Расчет продолжительности замачивания уплотняемых грунтов в котловане

Для котлованов с природной структурой грунтов в случае донной вертикальной фильтрации воды, значение напорного градиента по А.К.Болдыреву равно единице. В этом случае уравнение расхода воды  $Q$  из котлована имеет вид:

$$Q = K_{\phi} \times F \times t_3 \quad (1.3.27)$$

где,  $F$  - площадь котлована,  $m^2$

$t_3$  - продолжительность замачивания, сут

Соотношение данного уравнения с уравнением доувлажнения  $Q = V \cdot w_{def}$  имеем формулу для определения продолжительности времени фильтрации  $t_3$  при объемном замачивании грунта через дно котлована

$$t_3 = w_{def} \cdot \frac{H}{K_{\phi}}, \quad (1.3.28)$$

Продолжительность объемного замачивания грунтов через котлован имеет обратную зависимость от  $K_{\phi}$  и прямую зависимость от мощности замачиваемой толщи,  $H$  при этом, величина дефицита насыщения влагой,  $w_{def}$  изменяется от 15 до 40 суток.

Замачивание котлована фильтрующими скважинами применяется с целью:

- ускорения замачивания и сокращения времени замачивания;
- чрезмерного растекания фильтрующейся воды из котлована, при наличии поблизости от строительной площадки осадочувствительных сооружений.

Формула для определения продолжительности замачивание  $t_3$  строительного котлована фильтрующими скважинами имеет вид:

$$t_3 = \frac{S \cdot \mu}{22,2 \cdot \mu_3 \cdot \sqrt{q \cdot K_{\phi}}} \quad (1.3.29)$$

$S$  - площадь замачивания каждой из скважин,  $m^2$

$\mu$  - водоотдача, замачиваемого грунта в долях единицы (для суглинков 0.1-0.15, супесей 0.20-0.25)

$\mu_3$  - водоотдача заполнителя фильтрующих скважин, в долях единицы

$q$  - дебит каждой из фильтрующих скважин,  $m^3/сек$

Площадь замачивания каждой из скважин,  $S$  при их равномерном расположении

$$S = \frac{F}{N}, \quad (1.3.30)$$

где,  $F$  - общая площадь котлована,  $m^2$

$N$  - количество фильтрующих скважин.

При неравномерном расстоянии между скважинами. В расчет принимается площадь той скважины, которой предстоит замочить наибольшую площадь:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad (1.3.31)$$

где,  $R$  - половина расстояния между наиболее удаленными скважинами,  $m$ .

Дебит каждой из фильтрующих скважин определяется по формуле:

$$q = \frac{1,37 \cdot K_{\phi} (2 \cdot H' + \Delta h) \cdot \Delta h \cdot \mu_3}{\lg K - \lg 2} + 4 \cdot K_{\phi} \cdot 2 \cdot h \cdot \mu_3, \quad (1.3.32)$$

где,  $H'$  - мощность водонасыщенной части грунтовой толщи

$h$  - длина фильтрующей скважины, м

$\Delta h$  - превышение (напор) от водонасыщенной части межскважинного пространства до уровня воды в котловане. К концу фильтрации  $\Delta h$  равна толщине слоя воды в котловане, т.е. 0.3-0.5м

$R$ -радиус воронки депрессии-половина расстояния между скважинами, м

$r$  - радиус фильтрующей скважины, м

$\mu_3$  - водоотдача заполнителя фильтрующих скважин (для крупных и средних песков  $\mu_3=0.25$ , для гравелистых - 0.30, гравия - 0.35).

### 1.3.7 Сейсмические явления, возникающие при уплотнении просадочных грунтов механическими способами

При уплотнении просадочных грунтов механическими способами: тяжелыми трамбовками, грунтовыми и забивными ж/б сваями, подводными взрывами, возникают упругие колебательные движения, идентичные сейсмическим волнам в горизонтальном направлении.

Интенсивность колебания частиц грунта зависит как от энергии удара трамбовки или сваебойного механизма, так и от состояния (плотности, влажности) и свойств уплотняемых грунтов. При этом интенсивность колебания частиц грунта прямо пропорционально влажности грунтов.

Удельный импульс  $i$  кгм/с/м<sup>2</sup> действующего на грунт напряжения от свободного падения трамбовки или сваебойного молота определяется по

формуле:

$$i = \frac{m \cdot v}{F_{TP}} \quad (1.3.33)$$

где,  $m$  - масса трамбовки или молота, т.е. вес данного тела при не подвижном состоянии,  $m=a$

$v$  - скорость в момент удара трамбовки о грунт при свободном падении

$F_{TP}$  - площадь основания трамбовки, головки ж/б свай или уплотняющего стержня для грунтовых свай, см<sup>2</sup>.

При свободном падении уплотняющего тела, скорость его в момент удара о землю или сваю равна:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (1.3.34)$$

где,  $h$  - высота подъема (сбрасывания) трамбовки, м

$g$  - ускорение силы тяжести, равное 9.81м/с<sup>2</sup>

тогда,

$$i = \frac{a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{F} \quad (1.3.35)$$

Например, импульс уплотнения  $i$  кгм/с/м<sup>2</sup>, лессовидных грунтов трамбовками весом 5т, при площади основания 1.5м<sup>2</sup> при высоте сбрасывания 7м составляет 5.8 кгм/с/м<sup>2</sup>; соответственно для 9м - 6.8 кгм/с/м<sup>2</sup>.

Скорость колебания и возникающая сейсмичность по 12<sup>ти</sup> бальной системе института Физики Земли при уплотнении тяжелыми трамбовками при энергии удара  $a : h = 30 \times 40$ т/м имеет значения, приведенные в таблице 1.3.5.

Безопасное в сейсмическом отношении расстояние при уплотнении тяжелыми трамбовками, в зависимости от степени влажности грунтов составляет:

- для зданий и сооружений не имеющих деформаций 10-15м;
- для строящихся или имеющих деформации зданий и сооружений 15-20м.

При забивке грунтовых и ж/б свай величина безопасного расстояния:

- в первом случае как при уплотнении тяжелыми трамбовками - 3м;
- во втором случае 7-10м.

Граница распространения сейсмических колебаний от энергии взрыва, при одновременном взрыве ВВ весом до 750 кг по «НИИОСП» предлагается

формула 
$$R_c = 9\sqrt[3]{q} \quad (1.3.36)$$

где,  $R_c$  - граница безопасной сейсмической зоны при интенсивности колебания 5-6 баллов, м

$q$  - суммарный вес ВВ одновременного взрыва, кг.

Например при одновременном взрыве ВВ весом 200кг на расстоянии 50м, сейсмическое колебание частиц грунта составило 5 баллов.

При уплотнении методом подводного взрыва не менее опасным является взрывная волна.

Минимальное расстояние от уплотняемого участка до населенного пункта определяется по формуле:

$$R_b = K_b \sqrt{q} \quad (1.3.37)$$

где,  $R_b$  - граница безопасной воздушной волны, м

$q$  - суммарный вес ВВ одновременного взрыва, кг

$K_b$  - коэффициент пропорциональности, определяемый по таблице 1.3.6.

Таблица 1.3.5

**Скорость колебания и сейсмическая активность**

Расстояние от трамбуемого участка, м	Скорость колебания грунта, см	Сейсмическая интенсивность в баллах	
		степень влажности $S_r = 0.6-0.8$	приращение сейсмичности при $S_r > 0.8$
1	2	3	4
3.5-4.0	13.0	8	+1.0
5.0-7.0	8.2	7	+1.0
8.5-10.0	4.2	6	+1.0
15-20	0.4	2	+1.0

Таблица 1.3.6

**Коэффициент пропорциональности**

Степень повреждения	Значения $K_v$
Отсутствие повреждения	10-15
Повреждения застекления	5
Разрушения рам, дверей, легких строений	1

## 1.4 МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ОСНОВАНИЯ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

### 1.4.1 Рекомендации по выбору метода подготовки основания

Выбор метода подготовки основания на просадочных грунтах зависит от следующих факторов:

- мощности просадочной толщи, физико-механических свойств грунтов, начального просадочного давления;
- суммарной величины просадки;
- типа грунтовых условий участка строительства по просадочности;
- типа и конструкции проектируемого здания или сооружения. Его осадкочувствительности, возможности обводнения участка строительства в период эксплуатации здания или сооружения;
- технической возможности строительных организаций, ведущей строительство объекта;
- степени застроенности участка, его удаленности от сейсмо-волночувствительных сооружений;
- наличия источника воды для замачивания или доувлажнения уплотняемых грунтов.

При строительстве на просадочных грунтах применяется следующие методы подготовки и технической мелиорации оснований:

- Поверхностное уплотнение просадочных грунтов тяжелыми трамбовками. Наиболее эффективно при I типе грунтовых условий по просадочности. При II типе данный метод применяется в сочетании с предпостроечным замачиванием. Метод может быть применен и для уплотнения буферного слоя при подготовке основания грунтовыми сваями. Уплотнение тяжелыми трамбовками применяется для подготовки основания при устройстве грунтовых подушек и независимо от типа просадочности для создания водоупорного слоя - фильтрационного экрана - в основании любых сооружений. Применение метода уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками при II<sup>ом</sup> типе просадочности и мощности просадочной толщи до 10м уплотняет грунты в пределах зоны деформации (2-3.5м) до стандартной плотности 1.65т/м<sup>3</sup>, некоторый интервал (1.0-1.5м) переходной плотности (от естественной до 1.65т/м<sup>3</sup>) создает относительно водонепроницаемый экран, повышает начальное просадочное давление подстилающих слоев и уменьшает опасность просадочной деформации сооружения.

- Устройство грунтовых подушек может применяться самостоятельно при I типе грунтовых условий по просадочности. При II<sup>ом</sup> типе данный способ может быть применен в сочетании с предпостроечным замачиванием. При мощности просадочной толщи до 10м применение грунтовых подушек с уплотнением тяжелыми трамбовками практически полностью ликвидирует просадочность оснований зданий или сооружений.

Грунтовые подушки могут быть применены как завершающий этап подготовки основания во всех механических способах уплотнения, а также для создания водонепроницаемого экрана под зданием или сооружением.

- Устройство вытрамбованных котлованов применяется самостоятельно при I<sup>ом</sup> типе грунтовых условий по просадочности при строительстве зданий и сооружений на столбчатых фундаментах. При II<sup>ом</sup> типе данный способ может быть применен в сочетании с предпостроечным замачиванием из неглубоких котлованов или с поверхности земли. При мощности просадочной толщи не более 10м вытрамбование котлована может быть применено с целью создания уплотненной зоны под фундаментами и увеличения начального просадочного давления нижних слоев, т.е. для перевода основания со II<sup>о</sup> типа в I тип грунтовых условий по просадочности.

- Предпостроечное замачивание применяется при мощности просадочной толщи 10-20 и более м и величине суммарной просадки более 30см от собственного веса грунта. Допускается применение этого метода при суммарной величине просадки 15-30см. При этом в районе строительства должен иметься достаточный источник воды.

После стабилизации просадки верхний 2-8м слой грунта, суммарный вес которого превышает величину начального просадочного давления рекомендуется удалять, либо уплотнить одним из механических способов.

- Уплотнение методом подводного взрыва применяется самостоятельно при I типе грунтовых условий по просадочности. При II<sup>ом</sup> типе способ применяется в сочетании с предпостроечным замачиванием или с устройством грунтовых подушек. Способ ограничивается застроенностью территорий и требует достаточно мощного источника воды.

- Уплотнение просадочных грунтов грунтовыми (грунтонабивными) сваями применяется при II<sup>ом</sup> типе грунтовых условий по просадочности и достаточно эффективен при мощности просадочной толщи 10-15м. Допускается применение грунтовых свай и при I<sup>ом</sup> типе грунтовых условий, а также при мощности просадочной толщи до 20 и более м.

Широкое распространение для уплотнения просадочных грунтов имеет и применение железобетонных свай. При этом упрощается технология производства работ по внедрению свай в уплотняемые грунты.

- Методы закрепления грунтов: силикатизация, цементация, смолизация и термическая обработка (обжиг) могут быть применены как при I так и при II типах грунтовых условий по просадочности, независимо от мощности просадочной толщи глубинным способом.

Эти методы могут быть применены также для закрепления оснований деформированных зданий и сооружений. Применение этих методов зависит от технической оснащенности строительной организации и способности их производить соответствующие работы по подготовке основания.

Проекты подготовки оснований из просадочных грунтов разрабатываются на основании соответствующих инструкций и нормативных документов с учетом положений настоящих Методических рекомендаций.

## 1.4.2 Уплотнение тяжелыми трамбовками

Уплотнение тяжелыми трамбовками регламентируется КМК3.02.01-98 Земляные сооружения. Основания и фундаменты и КМК2.02.01-98 Основания зданий и сооружений.

Сущность метода уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками заключается в использовании кинетической энергии трамбровок весом 3-7т свободно падающих с высоты 5-9м, при этом возникает удельный импульс, превышающий статическую нагрузку до 10 раз и более и составляет 0.15-3.0МПа.

Уплотнение производится по специально разработанному проекту, в котором должны быть указаны:

- площадь уплотняемого основания;
- величина недобора грунта до проектной отметки заложения фундамента при производстве земляных работ;
- количество воды, заливаемой на 1м<sup>2</sup> уплотняемого основания;
- ориентировочная величина отказа для каждого вида основания;
- диаметр рабочей поверхности и вес трамбовки.

При уплотнении тяжелой трамбовкой вводятся следующие понятия и обозначения:

- уплотненный слой, T - слой в пределах, которого распространяется влияние трамбования, вызывающее увеличение плотности грунта по сравнению с плотностью его в природном сложении

- толщина достаточно уплотненного слоя, t-слой в котором плотность скелета грунта  $\rho_d \geq 1.65g / \text{см}^3$

- граница достаточно уплотненного слоя, t - горизонт в толще уплотненного грунта, выше которой плотность скелета грунта соответствует проектной или  $\rho_d \geq 1.65g / \text{см}^3$

- отказ - предельная величина понижения поверхности уплотняемого грунта от одного удара трамбовки в конце процесса уплотнения

- уплотнение до отказа - уплотнение грунта таким числом ударов, после которого наблюдается отказ.

Поверхностное уплотнение применяется в глинистых грунтах при степени влажности  $S_r \leq 0.75$  или при оптимальной влажности,  $\omega_{\text{опт}}$

$$\omega_{\text{опт}} = \omega_p - (0.01 - 0.03) \quad (1.4.1)$$

где  $\omega_p$  - влажность на пределе раскатывания.

Проект поверхностного уплотнения должен иметь технологическую карту производства земляных работ.

Целесообразность поверхностного уплотнения грунтов устанавливается в зависимости от величины возможного понижения трамбуемой поверхности  $\Delta h$  по формуле:

$$\Delta h = \frac{e_o - 0.5(e_{\text{упл}} + e_{\text{пр}})}{1 + e_o} \cdot t \quad (1.4.2)$$

где,  $e_o$  - коэффициент пористости в природном залегании;

$e_{упл}$  - минимальное значение коэффициента пористости уплотненного грунта

$$e_{opt} = \frac{\omega_{opt} \cdot \rho_a}{100} \quad (1.4.3)$$

где,  $\omega_{opt}$  - оптимальная влажность

$\rho_a$  - удельный вес воды, равный 1т/м<sup>3</sup>

$e_{пр}$  - коэффициент пористости на границе достаточно уплотненного слоя.

Уплотнение считается целесообразным при  $\Delta h > 5$ см для песчаных и  $\Delta h > 7-8$ см для глинистых грунтов.

Диаметр трамбовки  $d$  может быть определен по формуле  $d = kt$

где,  $t$  - толщина достаточно уплотненного слоя

$k$  - коэффициент пропорциональности, равный

для песчаных грунтов - 0.65

супесчаных - 0.70

лессовых - 0.75-0.8

насыпных - 0.85

глин в природном сложении - 1.0.

Вес трамбовки назначается исходя из условия, чтобы удельное статическое давление на грунт составляло не менее 0.015 МПа для песчаных и 0.02МПа для глинистых грунтов.

Уплотняемая площадь грунта основания  $F$  должна превышать площадь фундамента полосой, выступающей за пределы фундамента на величину  $C$ , равную 0.2 (а-d) для суглинков и глин и 0.3 (а-d) для пылеватых супесей; для рыхлых песчаных и насыпных грунтов  $F$  определяется по формуле:

$$F = (a + \tilde{N})(b + \tilde{N}) \quad (1.4.4)$$

(допускается определение  $F$  и по формулам 1.3.4; 1.3.5; 1.3.6)

где,  $a$  и  $b$  – меньшая и большая стороны фундамента, м

$d$  – диаметр основания трамбовки.

Во всех случаях ширина уплотняемой полосы  $C$  за пределами фундаментов должна быть не менее 0.2м для суглинков и глин и 0.3м для пылеватых супесей, рыхлых песчаных и насыпных грунтов.

Величина недобора ориентировочно принимается для насыпных и рыхлых песчаных грунтов 30-60см, макропористых просадочных грунтов 20-40см, песчаных 10-20см.

Принятая величина недобора уточняется в начале работ по результатам контрольного (опытного) трамбования.

Необходимое количество воды  $A$  для заливки котлована и получения оптимальной влажности уплотняемого основания определяется по формуле (1.3.20)

или по формуле

$$A = \frac{\rho_d(\omega_0 - \omega)}{\rho_d^b \cdot 100} \cdot T \quad (1.4.5)$$

где,  $T$  – толщина слоя уплотненного грунта, принимаемая равной  $2d$  для глинистых и  $2.5d$  для песчаных грунтов ( $d$  – диаметр рабочей поверхности трамбовки).

Величина отказа устанавливается контрольным (опытным) уплотнением и ориентировочно принимается равной:

- для глинистых грунтов 1 - 2 см
- для песчаных грунтов 0.5 - 1 см.

Количество ударов, необходимое для уплотнения грунтов до отказа составляет от 5 до 12 ударов (для грунтов Узбекистана 8-12 ударов), и уточняется по результатам контрольного (опытного) уплотнения.

Контрольное (опытное) уплотнение трамбованием выполняется перед производством основных работ по уплотнению грунтов в целях:

- определения величины понижения поверхности дна котлована от каждого удара и уточнения величины отказа и недобора грунта, предусмотренных проектом;

- установления необходимого количества ударов для уплотнения до отказа.

Опытное уплотнение выполняется на опытном участке размером не менее  $3 \times 3$  м или двойной ширины рабочего органа трамбующей машины и не менее  $6 \times 12$  м при уплотнении укаткой.

Опытное уплотнение производят при 3х значениях влажности грунтов

$$\omega_1 = \omega_{\text{опт}}; \omega_2 = 1.2 \omega_{\text{опт}}; \omega_3 = 0.8 \omega_{\text{опт}}$$

где,  $\omega_{\text{опт}} = \omega_p - (0.01 - 0.03)$  – оптимальная влажность при трамбовании, при укатке  $\omega_{\text{опт}} = \omega_p$ ;

$\omega_p$  – влажность грунта на границе раскатывания.

Поверхностное уплотнение трамбованием включает следующие процессы:

- отрыв котлованов или траншей;
- подготовку основания для уплотнения, включая планировку и при необходимости доувлажнение грунтов до оптимальной влажности;
- уплотнение грунтов основания;
- проверка качества уплотнения.

Трамбование производят через сутки после полного впитывания воды в грунт. При необходимости поверхность дна котлована засыпают слоем маловлажного грунта толщиной 10-15 см; можно использовать сухой щебень из кирпича или известняка.

Уплотнение ведется с перекрытием следов трамбовки на  $1/2$  ее диаметра по 2-3 удара по одному следу до отказа.

После трамбования производится планировка дна котлована и доуплотнение верхнего разрыхленного грунта.

### 1.4.3 Устройство грунтовых подушек

Грунтовая подушка - слой уплотненного грунта устраивается путем послойной отсыпки глинистых, песчаных и других грунтов в пределах деформируемой зоны основания с последующим их уплотнением укаткой или трамбованием, при оптимальной влажности.

Устройство грунтовых подушек включает:

- разработку котлована;
- планировку и уплотнение его дна;
- отсыпку, планировку и уплотнение каждого слоя до требуемой плотности;
- проверку качества уплотнения в каждом слое.

Для отсыпки подушек используются как местные, так и привозные глинистые, песчаные, песчано-глинистые грунты оптимальной влажности.

Толщина слоев назначается в зависимости от используемого оборудования.

Грунтовые подушки целесообразно устраивать толщиной 1.5-5м.

Устройство грунтовых подушек обеспечивает создание в основании фундаментов слоя уплотненного грунта малой сжимаемости и низкой фильтрационной способности. В просадочных грунтах подушки устраняют просадку только в пределах деформируемой зоны.

Грунтовые подушки устраивают в котлованах по всей площади сооружения или под отдельными фундаментами и применяют когда невозможно применение поверхностного уплотнения грунтов трамбованием.

При устройстве грунтовых подушек в пределах всей толщи деформируемой зоны от нагрузки фундаментов на участках с I типом грунтовых условий по просадочности здания и сооружения возводятся как на обычных непросадочных грунтах.

На площадках со II типом грунтовых условий устройство грунтовых подушек устраняет просадку грунта только от нагрузки фундаментов в пределах толщины подушки и метод может быть применен в сочетании с предварительным замачиванием либо другим методом, как завершающий этап подготовки основания.

Плотность скелета грунта в пределах уплотненного слоя грунтовой подушки должна быть не менее  $1.65-1.7\text{т/м}^3$ .

Грунтовые подушки обычно устраивают следующим образом: разрабатывается котлован, глубиной превышающей отметку заложения фундаментов не принятую толщину грунтовой подушки. Дно котлована планируется под горизонтальную отметку. Верхний (взрыхленный) слой основания подушки уплотняется трамбованием до проектной плотности, после чего отсыпается подушка отдельными слоями с последующей укаткой. Стандартная плотность грунтов достигается обычно при 8 - 12 проходах. После каждой укладки слоев укатка повторяется. Грунты укладываемой подушки должны иметь оптимальную влажность.

При малых значениях влажности укладываемых в подушку грунтов, их следует доувлажнять непосредственно в карьере.

Для устройства грунтовых подушек используются обычно местные глинистые и песчаные грунты. Песчаные грунты для устройства грунтовых подушек применяются при строительстве на слабых глинистых, водонасыщенных песчаных и просадочных грунтах I<sup>о</sup> типа грунтовых условий по просадочности, с применением мероприятий по устранению просадочных свойств грунтов или прорезке их свайными фундаментами.

На просадочных грунтах со II типом грунтовых условий по просадочности применение песчаных и других дренирующих зернистых материалов не допускается.

Грунты используемые для отсыпки грунтовых подушек должны характеризоваться:

- относительно однородным составом;
- устойчивостью структуры (отсутствие разложения, набухания, возгорания и т.п.);
- отсутствием включений размером более 20см и не более 0.3 от толщины отсыпаемого слоя.

Грунтовые подушки возводятся из грунтов оптимальной влажности  $\omega_{\text{опт}}$ , принимаемой для глинистых грунтов при их уплотнении:

трамбованием  $\omega_{\text{опт}} = \omega_p - (0.01 \div 0.3)$

укаткой  $\omega_{\text{опт}} = \omega_p$

де,  $\omega_p$  - влажность на границе раскатывания.

Для песчаных грунтов значение оптимальной влажности принимается.

Для крупных и средних песков ... 0.08 - 0.12.

Для мелких и пылеватых песков ... 0.12 - 0.18.

Грунтовая подушка производится в соответствии с разработанным проектом по возведению грунтовой подушки где должны быть указаны:

- толщина грунтовой подушки;
- размеры грунтовой подушки в плане;
- значение оптимальной влажности;
- требуемая плотность грунта в подушке.

При устройстве грунтовых подушек опытным уплотнением уточняются:

- толщина отсыпаемых слоев грунта;
  - число проходов трамбующих машин или механизмов по одному следу;
- и средняя плотность скелета сухого грунта в уплотняемом слое.

Опытное уплотнение производят в котловане, открытом в пределах участка строительства здания или сооружения.

Опытное уплотнение при устройстве грунтовой подушки производят также при 3<sup>х</sup> значениях влажности:

$$\omega_1 = \omega_{\text{опт}}; \quad \omega_2 = 1.2\omega_{\text{опт}}; \quad \omega_3 = 0.8\omega_{\text{опт}}$$

Толщина уплотняемых слоев принимается:  $h_1 = H$ ;  $h_2 = 1.2H$ ,  $h_3 = 0.8H$ , где H - величина уплотняемого слоя грунта в зависимости от применяемого механизма.

Разработка проекта устройства грунтовых подушек регламентируется соответствующими нормативными документами.

#### **1.4.4 Устройство вытрамбованных котлованов**

Сущность метода возведения фундаментов в вытрамбованных котлованах состоит в том, что котлованы под отдельные фундаменты не отрываются, а вытрамбовываются на необходимую глубину (обычно 0.6-3.0м) с одновременным уплотнением грунтов вокруг и под дном котлована.

Вытрамбование котлованов производится падающей с высоты 4 - 8м по направляющей штанге трамбовкой массой 1.5 - 7т и имеющей форму будущего фундамента.

Метод вытрамбовывания котлованов наиболее эффективен на просадочных грунтах  $I^o$  типа, с числом пластичности  $J_p \geq 3$  и плотности скелета грунта  $\rho_d \leq 1.6 \text{ г/см}^3$  со степенью влажности  $S_r \leq 0.75$  для фундаментов неглубокого заложения и  $S_r \leq 0.65$  для удлиненных фундаментов.

В результате вытрамбовывания вокруг котлована и под дном образуется уплотненная зона с повышенными значениями плотности сухого грунта, модуля общей деформации, прочностных характеристик  $C$  и  $\varphi$  и устраняются просадочные свойства грунтов.

Вытрамбование производится при оптимальной влажности грунтов. При этом размеры уплотняемого ядра составляют до  $3d$  (где,  $d$  - диаметр трамбовки при круглой ее форме, или приведенный диаметр при ее квадратной форме). В пределах этого ядра плотность скелета грунта увеличивается от  $1.5 \text{ т/м}^3$  на поверхности до  $1.95 \text{ т/м}^3$  под фундаментами. Удельное сцепление повышается в 5 - 10 раз, модуль общей деформации в 2 - 5 раз, расчетное сопротивление грунтов уплотненного ядра составляет 600-1100кПа.

Фундаменты в вытрамбованных котлованах подразделяются по глубине заложения - на фундаменты мелкого заложения при соотношении высоты  $h_s$  и ширине среднего сечения  $b_m \leq 1.5$  (см. рис.1 а)

фундаменты удлиненные, у которых  $d_p / d_m > 1.5$  (см. рис. 1 б)

по способу устройства - на обычные (без уширения основания) с плоской или клиновидной подошвой (см. рис. 1 а), и с уширением основания путем втрамбовывания в дно котлована щебня, гравия, бетонной смеси, с последующим заполнением верхней части котлована монолитным бетоном (см. рис.1 б).

Фундаменты в вытрамбованных котлованах применяют:

столбчатые для каркасных зданий и сооружений с вертикальной нагрузкой на них до 2000кН;

ленточные прерывистые и столбчатые для бескаркасных зданий и сооружений при нагрузке до 300кН

с уширенным основанием при нагрузках на столбчатые фундаменты более 500-800кН.

Работы по вытрамбовыванию котлованов производят по специально разработанному проекту на основании соответствующих нормативных документов.

В проекте производства работ по вытрамбованию котлованов должны быть указаны:

- план котлована под здание или сооружение;
- размеры в плане и глубина вытрамбованных котлованов;
- размеры, форма, вес, высота сбрасывания трамбовки и ориентировочное количество ударов;
- влажность грунтов и при необходимости доведения ее до оптимальной, расчет требуемого количества воды;
- ориентировочные размеры уплотненной зоны при принятых параметрах вытрамбования;
- минимально допустимые расстояния между котлованами ленточных прерывистых фундаментов;
- размеры уширения в основании, объем втрамбовываемого жесткого материала в дно котлована, число порций и объем одной порции;
- расчетные значения прочностных характеристик, модуля общей деформации уплотненных грунтов, расчетное сопротивление уплотненного грунта и нагрузки, действующие на фундамент;
- требования по технологии производства работ и контролю качества выполненных работ.

С целью уточнения параметров по вытрамбованию котлованов, приведенных выше, перед производством основных работ выполняются опытные работы по вытрамбованию котлованов.

Опытные работы выполняются на отдельной площадке расположенной вблизи от строящегося объекта, в котловане, отрытом на проектную глубину.

Опытное вытрамбовывание производится с замером понижения дна котлована после каждых двух ударов трамбовки. По окончании вытрамбовывания определяется плотность скелета грунта по глубине и в стороны через 0.25м.

В процессе вытрамбовывания котлованов ведется журнал производства работ.

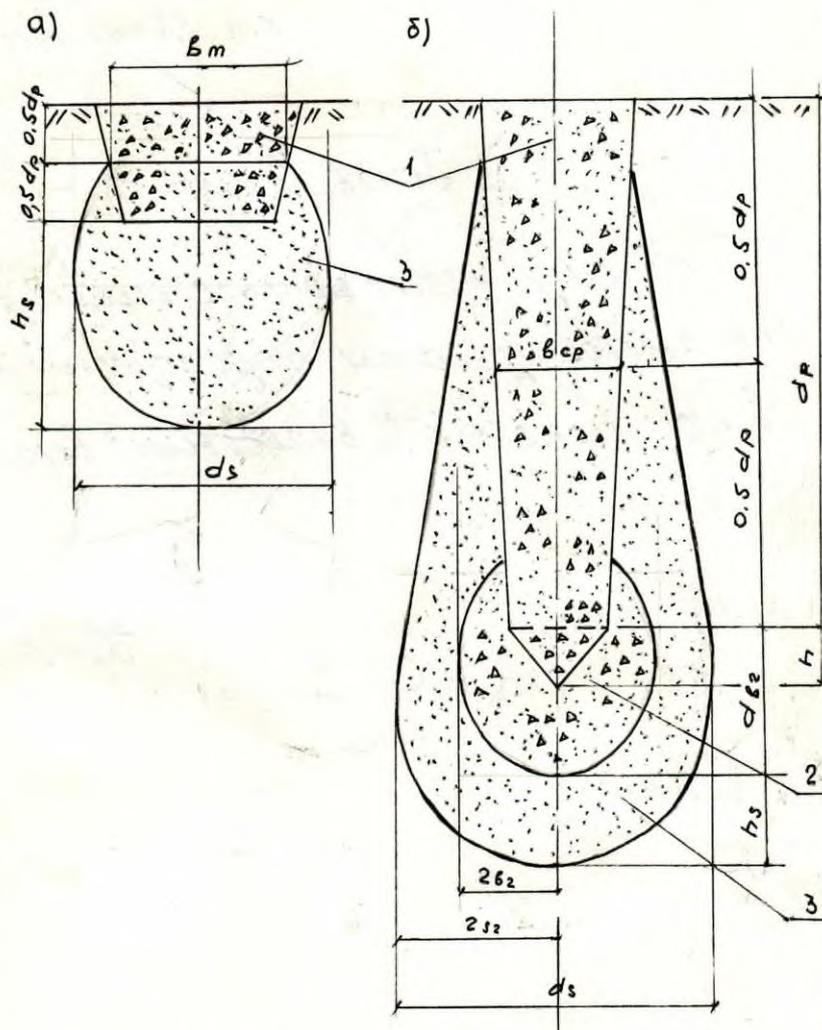


Рис. 1.4.1 Фундаменты в вибтрамбованных котлованах

а - обычный; б - с уширенным основанием;  
 1 - фундамент; 2 - вибтрамбованный жёсткий материал; 3 - уплотнённая зона.

### 1.4.5 Предпостроечное замачивание

Сущность метода основывается на способности просадочных грунтов самоуплотняться под нагрузкой от собственного веса при замачивании. Метод применим для уплотнения лессовых грунтов II<sup>0</sup> типа просадочности и лишь в

тех случаях, когда лессовый грунт в верхней части своей толщи имеет очень низкую величину начального просадочного давления (0.01 - 0.02МПа). К недостаткам метода следует отнести большой расход воды и большую продолжительность по времени как по замачиванию, так и по подсыханию грунта. Метод применим только для отдельно стоящих зданий.

При мощности просадочной толщи 10 - 20м и более, метод уплотнения предварительным замачиванием применяется в сочетании с поверхностными методами подготовки основания - уплотнением тяжелыми трамбовками, подводным взрывом, устройством грунтовых подушек и является предшествующим этапом для уплотнения этими методами.

Просадочные деформации в замачиваемых котлованах могут проявляться при следующих условиях:

$$a \geq \frac{4 \cdot \varepsilon \cdot \xi}{\rho_{\omega}}; \quad \rho_{\omega} \geq \frac{4 \cdot \tau \cdot \xi}{a}; \quad \tau \geq \frac{4 \cdot \rho_{\omega}}{4 \cdot \xi}; \quad (1.4.6)$$

где,  $a$  - меньшая сторона котлована, м;

$\tau$  - средняя величина сопротивления грунтов сдвигу, т/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\omega}$  - плотность грунта в водонасыщенном состоянии, т/м<sup>3</sup>;

$\xi$  - коэффициент бокового распора.

Сопротивление сдвигу определяется в лабораторных условиях

$$\tau = \rho \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (1.4.7)$$

где,  $\varphi$  - угол внутреннего трения, град

$c$  - удельное сцепление, КПа

$\rho$  - вертикальная нагрузка, кН

$$P = \rho_{\omega}^{cp} \cdot H \quad (1.4.8)$$

где,  $H$  - мощность замоченной просадочной толщи, м

$$\xi = \frac{\mu}{i - \mu} \quad (1.4.9)$$

где,  $\mu$  - коэффициент Пуассона, значения которого приводятся в таблице 1.3.7.

Таблица 1.3.7

### Значения коэффициентов Пуассона и бокового распора

Наименование пород	значения коэффициента Пуассона - $\mu$	значения коэффициента бокового распора - $\xi$
Плотный песок	0.26	0.36
Рыхлый песок	0.29	0.41
Супесь	0.30	0.43
Суглинок	0.35	0.54
Глина	0.42	0.73

Оптимальные размеры замачиваемых котлованов в зависимости от  $c, \varphi, \rho_w$  и  $\xi$  приводятся в таблице 1.3.8.

Замачивание котлована продолжается до условной стабилизации, или до величины просадки не более 1см в течение недели.

Суммарное количество воды, необходимое для замачивания котлована определяется по формуле:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{0.3} + Q_{\text{уст}} \quad (1.4.10)$$

где,  $Q_{0.3}$  - количество воды для объемной замочки, определяемое по формулам 1.3.19; 1.3.20; 1.3.26

$Q_{\text{уст}}$  - количество воды, необходимое для подачи в котлован до установления условной стабилизации просадочной деформации.

$$Q_{\text{уст}} = q \cdot t_{\text{уст}} \quad (1.4.11)$$

где,  $q$  - расход на фильтрацию из замачиваемого котлована на единицу времени, м<sup>3</sup>/сут

$t_{\text{уст}}$  - продолжительность водоподачи в котлован после объемной замочки и установления стабильной фильтрации, сут

$$q = 2.26 \cdot h \cdot K_{\phi} \sqrt{a \cdot b} \quad (1.4.12)$$

где,  $h$  - мощность слоя воды в котловане при замачивании, равная 0.3 - 0.5м

$K_{\phi}$  - коэффициент фильтрации, м/сут

$a, b$  - размеры котлована, м.

По результатам опытных замочек котлованов установлено, что 75 - 80% формирования кривой просадки происходит в течение первых 2 - 3 месяцев, остальные 20- 25% - в течение года с интенсивностью 2 - 3см в месяц, что менее 1см в неделю.

Таблица 1.3.8

**Значения оптимальной ширины котлованов - а в м, более которых проявляется  
просадочная деформация грунтов на полную мощность слоя**

Грунты - с у п е с и,  $\xi = 0.43$

$\tau$ Т/М <sup>2</sup> $\rho$ Т/М <sup>3</sup>	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
1.90	0.45	0.9	1.80	2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00	9.90	10.80	11.70	12.60	13.50
1.95	0.44	0.88	1.76	2.64	3.53	4.40	5.28	6.16	7.04	7.92	8.80	9.68	10.56	11.44	12.32	13.20
2.00	0.43	0.86	1.72	2.58	3.44	4.30	5.16	6.02	6.88	7.74	8.60	9.46	10.32	11.18	12.04	12.90

То же, грунты - с у г л и н к и,  $\xi = 0.54$

$\tau$ Т/М <sup>2</sup> $\rho$ Т/М <sup>3</sup>	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
1.90	0.57	1.14	2.28	3.42	4.56	5.70	6.84	7.98	9.12	10.26	11.40	12.54	13.68	14.82	15.96	17.10
1.95	0.55	1.11	2.22	3.33	4.44	5.55	6.66	7.77	8.88	9.99	11.10	12.21	13.32	14.43	15.54	16.65
2.00	0.54	1.08	2.16	3.24	4.32	5.40	6.48	7.56	8.64	9.72	10.80	11.88	12.96	14.04	15.12	16.20

При этом, общая продолжительность замачивания - состоит из суммы времени для объемной замочки -  $t_0$  и времени для замачивания до стабилизации -  $t_{уст}$  тогда  $t_{уст} = t_{\infty} - t_0$   
подставляя значения, имеем:

$$t_{уст} = (60 \div 90) - (15 \div 40) = 45 \div 50 \text{ сут.}$$

Для сокращения времени замачивания в замачиваемых котлованах устраивают фильтрующие скважины.

Уплотнение грунтов замачиванием выполняется по специально разработанному проекту на основании соответствующих нормативных документов.

При уплотнении грунтов предварительным замачиванием последовательно - выполняются следующие этапы:

- подготовка котлованов-карт для замачивания;
- замачивание грунта в котлованах;
- доуплотнение верхнего разрыхленного слоя грунта после окончания замачивания.

В процессе предварительного замачивания должны вестись систематические наблюдения за осадкой поверхностных и глубинных марок, а также за расходом воды; нивелирование должно производиться не реже одного раза в 5 - 7 дней.

Глубину замачивания устанавливают по результатам определения влажности грунта через метр по глубине на всю просадочную толщу.

Работы по уплотнению грунтов предварительным замачиванием фиксируются в соответствующих журналах.

#### **1.4.6 Уплотнение методом подводного взрыва**

Сущность метода уплотнения просадочных грунтов подводным взрывом заключается в следующем: строительные котлованы заполняются водой и взрыв осуществляется в водной среде. ВВ располагается на высоте 0.5м от дна котлована под слоем воды 1.0 - 1.5м.

Верхний слой воды служит для гашения энергии взрыва, нижний - средой для равномерной передачи уплотняющей нагрузки от динамического воздействия энергии одновременного взрыва ВВ.

Уплотнение грунта происходит на значительную глубину, причем наиболее уплотняется верхняя  $2^x$  метровая толща грунтов.

Уплотнение просадочных грунтов при значительной мощности просадочной толщи (15 - 20м) и II<sup>ом</sup> типе грунтовых условий по просадочности применяется в сочетании с методом предпостроечного замачивания.

Самостоятельно этот метод применим при мощности просадочной толщи не более 5 - 10м при I<sup>ом</sup> типе грунтов по просадочности.

Работы по уплотнению просадочных грунтов методом подводного взрыва производится по специально разработанному проекту.

Проект производства работ должен содержать:

- размеры котлованов и методику замачивания;

- технологическую карту земляных работ;
- необходимое количество воды для замачивания котлованов;
- конструкцию, число и расположение глубинных и поверхностных марок;
- способы уплотнения верхнего неуплотненного (буферного) слоя грунта;
- технологическую карту взрывных работ;
- указания по планировке территории, ее ограждения, обеспечения водой, электроэнергией и т.п.;
- схему охранной зоны, сейсмобезопасное расстояние до существующих зданий и сооружений, безопасную зону для людей.

Работы по уплотнению просадочных грунтов методом подводного взрыва выполняются в следующей последовательности:

- отрывается котлован и заливается водой в расчетном количестве и продолжительностью замочки.

Достигается условная стабилизация просадки и котлован высушивается до оптимальной влажности.

- В высушенный котлован размещаются заряды ВВ в шахматном порядке по сетке 0.7 x 0.7м или 1.0 x 1.0м с оптимальным расходом ВВ 1кг на 1м<sup>2</sup> площади.

- После установки ВВ фиксированным методом (подвеской на кольях) или навесным (с подвеской на шпагатах и проволоках - при этом методе подвески ВВ погружаются в воду).

- Котлован заполняется водой в течении 3 - 4 часов и производится взрыв.

Наибольший эффект достигается при степени влажности грунтов равной 0.6 - 0.8.

Зона нарушения водонасыщенного грунта  $R_n$  определяется по формуле:

$$R_n = K_n \sqrt[3]{qe} \quad (1.4.13)$$

где,  $K_n$  - принимаемый для лессовидных грунтов равным 2.45;

$e$  - коэффициент работоспособности ВВ;

$q$  - масса сосредоточенного заряда.

В застроенных массивах глубинные заряды не должны превышать 10кг, а расстояния до существующих зданий и сооружений не менее 50 - 70м.

Шаг между взрывными скважинами составляет

- по квадратной сетке  $L = R_n \sqrt{2}$  ;

- по шахматной сетке  $L = R_n \sqrt{3}$ .

Минимально допустимая глубина размещения заряда ВВ определяется по формуле:

$$h_3 = 8.2 K_{BB} K_{cp} \sqrt[3]{9} \quad (1.4.14)$$

где,  $K_{BB}$  - коэффициент, зависящий от типа ВВ, принимается для тротила и аммонита равным 0.85, для аммонала - 0.58.

$K_{cp}$  - коэффициент, зависящий от вида грунта, принимается для глин и суглинков 0.24 - 0.3, для супесей - 0.29-0.4.

Сейсмобезопасное расстояние  $r_c$  определяется по формуле:

$$r_c = 2K_c d \sqrt[3]{q} \quad (1.4.15)$$

где,  $K_c$  - коэффициент, зависящий от свойств грунта, для водонасыщенных глинистых грунтов равен  $1.5 \times 9 = 13.5$

$d = 1.2$  коэффициент для камуфлетного взрыва.

Сетка зарядов их вес для уплотнения грунтов методом подводного взрыва приведена в таблице 1.3.9 (НИИОСП).

Таблица 1.3.9

### Сетка размещения зарядов и их вес

наименование грунта	число пластичности	Вес заряда в (кг) при плотности скелета грунта (в т/м <sup>3</sup> )		сетка размещения зарядов м х м
		менее 1.40	более 1.40	
супесь	менее 4	0.6	0.5	0.6x0.6
	4-7	1.0	0.8	0.6x0.6
суглинок	7-12	1.0	1.0	1.0x1.0
	более 12	1.4	1.2	1.2x1.2

Величина недобора при отрывке котлованов составляет при  $\rho_d$  менее  $1.4\text{т/м}^3$  - 40см, при  $\rho_d$   $1.4\text{-}1.5\text{т/м}^3$  - 30см, при  $\rho_d > 1.5\text{т/м}^3$  - 25см где,  $\rho_d$  - плотность скелета грунта в естественном состоянии.

#### 1.4.7 Уплотнение сваями

Уплотнение просадочных грунтов может выполняться грунтовыми сваями или забивными железобетонными. Сущность метода заключается во внедрении в тело уплотняемого массива грунтов дополнительного объема в виде скважин с последующим набиванием их грунтом или железобетонных свай. Грунтовые сваи целесообразно применять при мощности просадочной толщи 10 - 15метров и более.

Уплотнение производится по специально разработанному проекту согласно действующих нормативных документов.

Уплотнение грунтовыми сваями состоит из следующих этапов:

- вертикальной планировки строительной площадки;
- разбивки грунтовых свай;
- пробивки скважин до проектной глубины;
- доставки грунта и засыпки его в скважины отдельными порциями с послойным уплотнением до проектной плотности;
- технического контроля за технологией и качеством уплотнения.

Грунтовые сваи устраивают на всю мощность просадочной толщи. Пробивку скважин осуществляют специальным устройством с помощью станков ударно-канатного бурения БС - 1. Скважину набивают послойной трамбовкой местным лессовидным грунтом при оптимальной влажности.

Для расчета площади свайного поля, т.е. количества свай в пределах единицы площади котлована, м<sup>2</sup> предлагается формула:

$$S = \frac{\rho_d^{y_{nl}} - \rho_d}{\rho_s} \quad (1.4.16)$$

где,  $\rho_s$  - плотность частиц грунта, т/м<sup>3</sup>

$\rho_d$  - плотность скелета грунта естественного сложения

$\rho_d^{y_{nl}}$  - плотность скелета грунта в уплотненном массиве, т/м<sup>3</sup>.

При стандартной плотности уплотняемых грунтов равной 1.65т/м<sup>3</sup>, величина площади свайного поля имеет оптимальное значение -  $S = S_{opt}$ . И формула 1.4.16 будет иметь вид

$$S_{opt} = \frac{1.65 - \gamma_d}{\rho_s} \quad (1.4.17)$$

Значение оптимальной площади свайного поля в пределах удельной площади котлована при величине  $\rho_s$  равным 2.69т/м<sup>3</sup> при различных значениях естественной влажности уплотняемых грунтов приведены в таблице 1.3.10.

Таблица 1.3.10

### Значения оптимальной площади свайного поля

$\rho_d$ т/м <sup>3</sup>	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60
$\omega_{opt}$ м <sup>2</sup>	0.150	0.130	0.110	0.093	0.074	0.055	0.037	0.019	0.000

Оптимальное количество свай  $n_{opt}$  приходящееся на площадь свайного поля в пределах удельной площади котлована определяется по формуле:

$$n_{opt} = 1.28 \frac{S_{opt}}{d^2} \quad (1.4.18)$$

где,  $d$  - диаметр свай, м.

В таблице 1.3.11 даны значения оптимального количества свай на единицу площади котлована в м<sup>2</sup>, необходимого для уплотнения грунтов до стандартной плотности 1.65т/м<sup>3</sup>.

## Оптимальное количество свай

Диаметр свай, м	Значения естественной плотности грунта, т/м <sup>3</sup>								
	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60
0.30	2.1	1.8	1.5	1.3	1.0	0.76	0.51	0.26	0.00
0.40	1.2	1.0	0.86	0.73	0.58	0.44	0.30	0.15	0.00
0.50	0.75	0.65	0.55	0.46	0.37	0.27	0.18	0.10	0.00

Расстояние между свайными рядами при забивке грунтовых или забивных железобетонных свай определяется по формуле:

- при расположении свай по квадратной сетке

$$l = \frac{1}{\sqrt{n_{opt}}}; \quad (1.4.19)$$

- при расположении свай по вершинам равностороннего треугольника

$$l = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{n_{opt}}} \quad \text{или} \quad l = \frac{0.866}{\sqrt{n_{opt}}} \quad (1.4.20)$$

Количество грунта, забиваемого в скважину каждой свай  $Q_1$  в тоннах определяется по формуле:

$$Q_1 = 0.78 \cdot d^2 \cdot h \cdot \rho_{упл} \quad (1.4.21)$$

где,  $h$  - длина свай, м

$\rho_{упл}$  - плотность скелета уплотненного грунта, т/м<sup>3</sup>.

Удельное количество грунта для засыпки 1п/м свай определяют по формуле:

$$q = 1.5 \times d^2 \quad (1.4.22)$$

Объем необходимого грунта в природном сложении равен

$$V = q \cdot h \cdot N \cdot K_{opt} \quad (1.4.23)$$

где,  $N$  - количество;

$K_{opt}$  - коэффициент относительного уплотнения как соотношение  $\rho_d^{max} / \rho_d^{есм}$

Влажность уплотняемого грунта должна быть оптимальной  $\pm 2\%$ .

Уплотнение производится до отказа, либо - 25 ударами после засыпки каждой порции.

После окончания работ по устройству грунтовых свай, верхний (разрыхленный) слой котлована уплотняется катками, либо легкими ударами тяжелой трамбовки.

Качество работ при уплотнении грунтовыми сваями проверяется определением плотности уплотненных грунтов на отметке заложения фундаментов в пределах участков между тремя грунтовыми сваями, расположенными в плане по вершинам равностороннего треугольника.

Результаты работ по устройству грунтовых свай фиксируются в соответствующих журналах.

#### **1.4.8 Закрепление грунтов методом силикатизации**

Является одним из наиболее эффективных способов химического закрепления лессовых грунтов. Силикатизация закрепляет грунты, устраняет просадочность, обеспечивает водоустойчивость, повышает механическую прочность оснований, их прочностные показатели ( $C$  и  $\varphi$ ).

Сущность метода заключается во ведении в лессовый грунт раствора силиката натрия (жидкого стекла) - кремнегель, через специальные инъекторы. По порам жидкое стекло равномерно пропитывает лессовый грунт. Процесс закрепления и нарастания прочности протекает достаточно быстро.

Метод применим как при I<sup>ом</sup>, так и II<sup>ом</sup> типе грунтовых условий по просадочности, а также для закрепления деформированных оснований.

Кремнегель в закрепленном грунте присутствует в 3<sup>х</sup> формах:

- в жидком стекле, не прореагировавшим с грунтом;
- в поликонденсационном состоянии, в которое он переходит со временем из избыточного жидкого стекла;
- в виде кремнегеля, адсорбированного из гидроокиси кальция.

Гидроокись кальция и адсорбированный кремнегель являются основным цементирующим материалом в укрепленном силикатизацией лессовом грунте. В отличие от механических способов уплотнения просадочных грунтов, силикатизация проводится при естественной влажности.

Существует несколько способов силикатизации:

- двухрастворная;
- однорастворная;
- электросиликатизация;
- газовая силикатизация, аэросиликатизация.

Силикатизацией закрепляют либо поверхностный слой лессовых грунтов (способ пропитывания), либо массивы грунтов в глубине лессовых толщ (способ нагнетания). При поверхностной силикатизации пропитка и закрепление грунтов достигает 50см.

Глубинная силикатизация с помощью инъекторов может производиться всеми выше перечисленными способами.

Двухрастворная силикатизация применяется в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации более 2м/сутки. Значения удельного веса раствора жидкого стекла, нагнетаемого в грунт через инъекторы приведены в таблице 1.3.12. При этом поочередно нагнетаются растворы жидкого стекла (силиката натрия и хлористого кальция).

## Значения удельного веса раствора жидкого стекла

№№ п/п	Коэффициент фильтрации грунта, м/сут	Удельный вес раствора жидкого стекла при модуле 2.5-3.0 и T=18°C
1	0.1-2.0	1.30-1.35
2	2-10	1.35-1.38
3	10-20	1.38-1.41
4	20-80	1.41-1.44

Однорастворная силикатизация принимается для закрепления лессовых грунтов с коэффициентом фильтрации 0.1-2м/сут. Грунт закрепляется смесью растворов силиката натрия с серной или фосфорной кислотами.

При применении в качестве химического закрепителя водного раствора силиката-натрия-жидкого стекла с модулем 2.8 и плотностью 1.3г/см<sup>3</sup> расход его составляет примерно 20% от веса сухого грунта, расход раствора 60-120л на 1п/м длины нагнетания нагнетаемой скважины. В качестве закрепителя могут применяться также растворы кремнефтористоводородной кислоты без отвердителя, в виде водного раствора, из расчета 15% от сухого грунта с расходом раствора 120-200л на 1п/м длины скважины. «НИИОСП» для закрепления лессовых грунтов рекомендует применять растворы жидкого стекла с плотностью 1.13-1.19г/см<sup>3</sup>.

Расход растворов  $V$  при силикатизации определяется по формуле:

$$V = k \cdot \mathcal{G} \cdot n \quad (1.4.24)$$

где,  $\mathcal{G}$  - объем закрепляемого грунта, м<sup>3</sup>

$n$  - пористость грунта, %

$k$  - постоянный коэффициент,

для песков  $k=5$ , плывунов  $k=12$ , для лессов  $k=8$ .

Необходимое количество силиката натрия в твердом виде  $Q$  для закрепления грунтов определяется по формуле:

$$Q = V_{\text{сум}} (\gamma_{\text{раств}} - 1) \quad (1.4.25)$$

$\gamma_{\text{раств}}$  - удельный вес нагнетаемого раствора силиката натрия, г/см<sup>3</sup>.

Расход раствора силиката натрия для нагнетания на 1п/м длины скважины  $V_1$  определяется по формуле:

$$V_1 = k \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n \quad (1.4.26)$$

где,  $R$  - радиус закрепления грунта (по таблице 1.3.13)

$\pi=3.14$

Расход раствора для инъекции на одну скважину  $V_{\text{скв}}$  равен

$$V_{\text{скв}} = V_1 \cdot l \quad \text{или} \quad V_{\text{скв}} = k \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n \cdot l \quad (1.4.27)$$

где,  $l$  - длина скважины, м.

Суммарный расход раствора  $V_{\text{сум}}$  для инъекции в пределах закрепляемого участка равен:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{скв}} \cdot N \cdot 1.02 \cdot 1.05 \quad (1.4.28)$$

где,  $N$  - количество скважин

1.02 - коэффициент, учитывающий транспортные расходы

1.05 - коэффициент, учитывающий технологические потери.

Инъекция раствора в грунт производится под давлением до 5 атм в лессы и пльвуны и до 15 атм в пески с расходом раствора - 1-5л/мин.

Радиус закрепления грунта зависит от способа закрепления и коэффициента фильтрации, значения которого приведены в таблице 1.3.13. Расстояние между рядами инъекторов-скважин  $L$ , принимается равным  $L=1.5R$ .

Электросиликатизация принимается в грунтах с коэффициентом фильтрации 0.1-0.5м/сут. При пропускании через грунт анодов и катодов с постоянным электрическим током возникает явление электроосмоса, что способствует продвижению раствора в грунт и соответственно увеличивается радиус закрепления.

Технология производства работ, режим, продолжительность закрепления методом силикатизации нормируется соответствующими нормами и правилами и инструкциями.

Газовая силикатизация заключается в том, что грунт при силикатизации дополнительно обрабатывается небольшим количеством углекислого газа.

Углекислый газ, вытесняя из пор грунта воздух и воду, осуществляет самовакуумирование. Вследствии активного поглощения силикатным раствором угольной кислоты происходит заполнением жидким стеклом до 95% пор грунта и повышает радиус закрепления грунта на 50-60%.

Аэросиликатизация - совместное нагнетание раствора жидкого стекла и сжатого воздуха, что позволяет получать направленные радиально от инъектора ленты закрепленного грунта длиной до 2м. Такие ленты эффективны при устройстве завес, фундаментов стаканного типа, опор-столбов, оснований существующих зданий и сооружений, находящихся в аварийном состоянии.

**Величина радиуса закрепления грунтов  
инъекцией жидкого стекла**

Грунты	Способ закрепления	Коэффициент фильтрации грунтов, м/сутки	Радиус закрепления грунта, м
пески	двухрастворная силикатизация	2-10	0.3-0.4
		10-20	0.4-0.6
		20-50	0.6-0.8
		50-80	0.8-1.0
пльвуны	однорастворная силикатизация	0.3-0.5	0.3-0.4
		0.5-1.0	0.4-0.6
		1.0-2.0	0.6-0.8
		2.0-5.0	0.8-1.0
лессы	однорастворная силикатизация	0.1-0.3	0.3-0.4
		0.3-0.5	0.4-0.6
		0.5-1.0	0.6-0.9
		1.0-2.0	0.9-1.0

#### **1.4.9 Закрепление грунтов методом цементации**

Цементация применяется как для поверхностного закрепления грунтов, так и глубинного. В качестве цементного раствора принимаются растворы из портландцемента марки 400. Соотношение цемента и грунта в сухом виде составляет соответственно 7 - 14% и 86 - 93%, с добавлением воды в достаточном количестве обычно в пределах 1: (0.6-0.75). Полученный раствор нагнетается в закрепляемый грунт через перфорированные инъекторы. Раствор заполняя поры и пустоты грунта создает прочные цементированные агрегаты диаметром до 1.4м, в зависимости от фильтрационной способности грунтов.

Расход цемента составляет 60-80кг на 1п/м скважины. Закрепление основания продолжается до 28 суток и прочность его увеличивается до 0.18 - 0.24МПа с удельным сцеплением 34КПа. Абсолютная прочность закрепленного цементацией грунта достигает 0.48МПа

Цементация применяется для:

- повышения несущей способности грунтов основания
- устройства профилтрационных завес в котлованах и под сооружениями временных или постоянных
- снижения фильтрации в гравелистых, трещиноватых, карстовых породах, а также других полостей и пустот, с целью не допущения замачивания лессовых оснований в период эксплуатации зданий и сооружений.

#### 1.4.10 Закрепление грунтов методом смолизации

Сущность метода заключается в том, что при обработке грунта карбомидными или фурфуловыми смолами с соответствующими отвердителями (раствор соляной кислоты с концентрацией 3-5%) происходит упрочнение грунтов с одновременным повышением водостойкости и уменьшением фильтрационной способности.

При закреплении неразбавленной смолой прочность на сжатие достигает 5МПа, вдвое разбавленной смолой 1.5-2МПа, второе 0.4-0.5МПа. Радиус закрепления достигает 0.4-0.7м при коэффициенте фильтрации грунтов 0.5-2м/сут.

При величине  $R_n$  менее 7.2 в начале нагнетают рабочий раствор - 48-50% раствора смолы, затем соляную кислоту, при  $R_n$  более 7.2 в начале нагнетают раствор соляной кислоты, затем рабочий раствор смолы.

Лессовые грунты можно закреплять водным раствором универсальной карбомидной смолы - УКС с плотностью 1.19г/см<sup>3</sup>, с отвердителем в виде хлористого аммония в количестве 4% веса смолы и с расходом смолы 90-110кг на 1п/м скважины. При этом, достигается увеличение диаметра закрепленного грунта до 1.2м, а прочности до 0.25-0.4МПа.

Расход раствора смолы -  $Q$  для закрепления массива грунта определяется по формуле

$$Q = \mathcal{G} \cdot n \cdot d \quad (1.4.29)$$

Количество раствора для нагнетания в одну скважину  $q$  определяется по формуле:

$$q = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot n \cdot d \quad (1.4.30)$$

где,  $\mathcal{G}$  - объем закрепляемого грунта, м<sup>3</sup>

$n$  - пористость грунта, %

$r$  - радиус закрепления, м

$l$  - глубина скважины нагнетания, м

$d$  - коэффициент заполнения, равный 10.

Для закрепления грунтов смолизациями разрабатывается специальный проект. Технология и организация работ по смолизации подобны работам по силикатизации.

#### 1.4.11 Закрепление грунтов обжигом

Сущность обжига (термической обработки) просадочных лессовых грунтов заключается в обезвоживании и спекании грунта вокруг очага обжигания и создания водоустойчивой грунтовой среды в основании зданий и сооружений. Существует 2 способа термического упрочнения просадочных лессовых грунтов:

- метод Н.А.Осташева. Метод заключается в нагнетании в лессовый грунт через скважины воздуха, нагретого до 600-900°С. Радиус закрепления вокруг скважины составляет 1-1.5м

- метод И.М.Литвинова. По второму методу обжиг производится путем непосредственного сжигания в скважине жидкого, твердого или газового горючего, при этом образуется температура до 1200-1400°С равная температуре плавления лессовых грунтов. Время термической обработки составляет 5-10 и более суток, при этом прочность грунтов составляет 2 и более МПа. При обжиге вокруг скважины образуется конусообразный закрепленный массив диаметром в верхней своей части 1.5-2.5м и в нижней (на глубине 7-8м) - 0.2-0.4 этой величины. Глубина закрепления составляет 10-15м. После обжига скважины заполняют местным грунтом.

Термически закрепленный грунт становится кирпичеподобным, в 2-3 раза повышает свои прочностные характеристики, не размокает, утрачивает просадочные свойства.

Возможная температура воздуха в скважине в процессе сжигания определяется по формуле:

$$t = \frac{Q}{C(1.293 - Y + 1)} \quad (1.4.31)$$

где,  $Q$  - количество тепла от сжигания топлива, ккал/кг

$Y$  - количество подаваемого в скважину воздуха на 1кг горючего, м<sup>3</sup>

Обычно  $Y = 25-35$  м<sup>3</sup>

$C$  - средняя весовая теплоемкость продуктов сгорания, при постоянном давлении  $P=0.15-0.50$  атм

$$C = 0.235 + 0.000019 \cdot t$$

Работы по обжигу выполняются по специально разработанному проекту специализированной организацией.

## 1.5 КОНТРОЛЬ ЗА КАЧЕСТВОМ ПОДГОТОВКИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

Качество уплотнения при любом способе производства работ признается удовлетворительным, если средняя плотность грунтов в уплотненном состоянии соответствует проекту. Допустимое отклонение в сторону уменьшения плотности, принятой в проекте, не должно превышать 0.03т/м<sup>3</sup> в количестве не более 10% общего числа определений.

Результаты работ по уплотнению просадочных грунтов должны фиксироваться в соответствующих журналах.

Качество работ по уплотнению грунтов надлежит проверять путем определения плотности грунта при уплотнении трамбованием через 0.25-0.5м по глубине, а при послойном уплотнении укаткой в середине каждого слоя; количество пунктов определения плотности устанавливается из расчета один пункт на каждые 300м<sup>2</sup> уплотненной площади и берется не менее 2 проб при уплотнении трамбованием и 3 проб в каждом слое при послойном уплотнении укаткой.

При уплотнении тяжелыми трамбовками грунтов с оптимальной влажностью качество уплотнения допускается проверять контрольным определением отказа из расчета одно определение на каждые 100м<sup>2</sup>

уплотненного грунта. Уплотнение признается удовлетворительным, если понижение отметки основания под действием ударов трамбовки не превышает величины установленного отказа. Контрольное определение отказа производится двумя ударами трамбовки при сбрасывании ее с высоты принятой при производстве работ, но не менее 6м. Величина отказа составляет 1-2 см для глинистых грунтов и 0,5 – 1 см для песчаных.

Наблюдение и пооперационный контроль за качеством выполнения отдельных видов работ осуществляется заказчиком, технической инспекцией, авторским надзором, геотехнической или строительной лабораторией, а контроль степени плотности и влажности уплотненного грунта-геотехнической или строительной лаборатории.

При несоблюдении требований проекта или технологической схемы производства работ контролирующие инстанции делают соответствующие записи в журнале производства работ.

Степень плотности уплотненных грунтов оценивается по плотности скелета грунта, установленного в проекте, которая определяется методами:

- парафинирования отобранных проб грунтов из шурфов;
- режущего кольца;
- радиоактивных изотопов поверхностными приборами;
- радиоактивных изотопов в скважинах;
- зондированием песчаных грунтов;
- контрольным определением отказа при поверхностном уплотнении тяжелыми трамбовками.

Качество работ при уплотнении грунтовыми сваями проверяется определением плотности уплотненных грунтов на отметке заложения фундаментов в пределах участков между тремя грунтовыми сваями, расположенными в плане по вершинам равностороннего треугольника; количество пунктов устанавливается из расчета один на каждые 1000м<sup>2</sup> уплотненной площади. Фактическое расстояние и глубина должны соответствовать проекту. Если расстояние между центрами грунтовых свай больше проектного на 0.4 диаметра, устраиваются дополнительные грунтовые сваи.

Качество работ по предварительному замачиванию, в том числе с применением энергии глубинных взрывов, проверяется наблюдением за просадками поверхностных и глубинных марок и определения плотности грунта через 1-2м в пределах всей уплотняемой его толщи. Количество мест определения влажности и плотности грунта назначаются не менее одного на каждые 3000м<sup>2</sup> площади уплотненного основания.

Приемка работ по уплотнению грунтов производится по данным определения плотности и влажности уплотненных грунтов с составлением акта.

Приемка работ должна производиться согласно требований СНиП и других нормативных документов, регламентирующих выполнение работ по подготовке грунтов основания на просадочных грунтах тем или иным способом, рассмотренных выше в разделе 1.4.

Качество работ по закреплению грунтов тем или иным методом (силикатизация, цементация, смолизация, обжиг) отвечающее соответствующему

щим требования нормативных документов и проекта к их закреплению в части форм и размеров закрепленных массивов, их сплошности и однородности, прочностных, деформационных и других физико-механических свойств закрепленных грунтов определяется:

- правильностью выбранного способа закрепления;
- соответствие требованиям проекта;
- правильностью заложенных в проект расчетных параметров и технических условий на производство работ;
- качеством исполнения проектных расчетных параметров и технических условий при производстве работ.

Производство работ по закреплению грунтов должно сопровождаться комплексом соответствующих контрольных мероприятий с обязательным ведением исполнительной документации.

Мероприятия по контролю за качеством работ по закреплению грунтов должны быть заложены в проекте.

Контроль качества исполнения проекта заключается в систематической проверке соответствия зафиксированных в исполнительной документации технологических данных при производстве работ с соответствующими проектными данными.

При вскрытии каких-либо отступлений от проекта авторский надзор и производители работ должны принять соответствующие меры по их устранению, а также меры по восстановлению не качественно обработанных участков в закрепляемом грунтовом массиве.

С целью оценки качества закрепления грунтов необходимо выполнять вскрытие и обследование закрепленных массивов шурфами и скважинами с отбором проб и лабораторным определением физико-механических характеристик закрепленных грунтов.

Количество и расположение контрольных скважин и шурфов, мест геофизических исследований или мест зондирования, количество отбираемых проб закрепленных грунтов, состав определяемых в лаборатории физико-механических характеристик закрепленных грунтов назначаются проектом.

Количество контрольных скважин ориентировочно должно составлять 3-5% общего количество инъекционных скважин, а число шурфов назначается примерно из расчета один шурф на 2-3тыс.м<sup>3</sup> закрепленного грунта, но не менее двух шурфов на объекте.

Вскрытие контрольных шурфов или бурение контрольных скважин осуществляется не менее чем через семь суток после окончания работ по закреплению грунта.

Контрольное бурение осуществляется колонковым способом диаметром скважин не менее 85мм. Пробы (керна) закрепленного грунта для лабораторных исследований отбираются через каждые 0.8-1м по глубине.

При приемке-сдаче законченных работ кроме проекта должны быть представлены соответствующие рабочие журналы и акты (исполнительная документация) по производству работ, соблюдение выполнения их технологии

и соответствующих требований. На основе представленных документов составляется акт-заключение о качестве выполненных работ и их приемке.

## 1.6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРАНЕНИЮ ПРОСАДОЧНОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Устранить просадочность с помощью только одного какого-либо метода технической мелиорации возможно обычно в отдельных случаях, но чаще всего для этого необходимо применение двух и более методов, т.е. требуется комплекс методов по улучшению свойств лессовых грунтов.

Среди факторов, определяющих выбор методов, следует выделить три:

- 1) разделение лессовых грунтов на I и II типы по просадочности;
- 2) мощность слоя просадочных грунтов;
- 3) прогнозируемая влажность грунтов оснований зданий и сооружений в период их эксплуатации.

Эти факторы, позволяют условно присвоить номер группы лессовым грунтам, которая представляет собой определенное сочетание перечисленных выше факторов. В таблице 1.3.14 приведены группы лессовых грунтов и определяющие факторы.

Таблица 1.3.14

Тип просадочности	Мощность слоя просадочных грунтов, м	Прогнозируемая влажность грунтов основания	Номер группы лессовых грунтов
I	до 7	а) сухие б) мокрые	I II
	7-12	а) сухие б) мокрые	III IV
II	до 12-15	сухие, мокрые	V
	свыше 15	сухие, мокрые	VI

Базируясь на приведенных группах лессовых грунтов можно предложить определенные рекомендации по устранению просадочности по группам лессовых грунтов.

Лессовые грунты I<sup>о</sup> типа просадочности - мощность просадочных лессовых грунтов до 7м - группа лессовых грунтов № I.

При данной группе, все мероприятия по укреплению просадочных грунтов должны осуществляться в деформируемой зоне. В этом случае достаточно эффективным оказывается трамбование тяжелыми трамбовками, устройство песчаных и грунтовых подушек, кальмотаж, неглубокие свайные фундаменты. Увлажнение грунтов, расположенных ниже деформируемой зоны, не представляет серьезной опасности.

Группа лессовых грунтов № II, при условии обводнения грунтов основания или постепенного их увлажнения. В этом случае возникает необходимость устранения просадочности грунтов в пределах всей сжимаемой толщи. К методам принимаемых для группы грунтов № I следует добавить замачивание грунтов в период возведения здания, уплотнение взрывами, виброуплотнение.

### Мощность просадочных грунтов от 7 до 12м

Группа лессовых грунтов №III - для зданий и сооружений при «сухих» грунтах оснований противопросадочные мероприятия осуществляется в сжимаемой зоне, либо по всей просадочной толще. Необходимо применять устройство водонепроницаемого грунтового экрана в сочетании с силикатизацией, термическим закреплением, грунтовыми сваями, глубинным виброуплотнением, уплотнением взрывами. Возможно и замачивание грунтов под весом здания.

Устранение просадочности только в сжимаемой зоне допустимо, когда начальное просадочное давление более 0.15МПа. При этом, целесообразно применение грунтовых подушек или уплотнение трамбованием.

Группа лессовых грунтов №IV. Необходимо применение противопросадочных мероприятий в пределах всей просадочной толщи. Можно использовать силикатизацию, грунтовые сваи, термическое закрепление, замачивание, глубинное виброуплотнение.

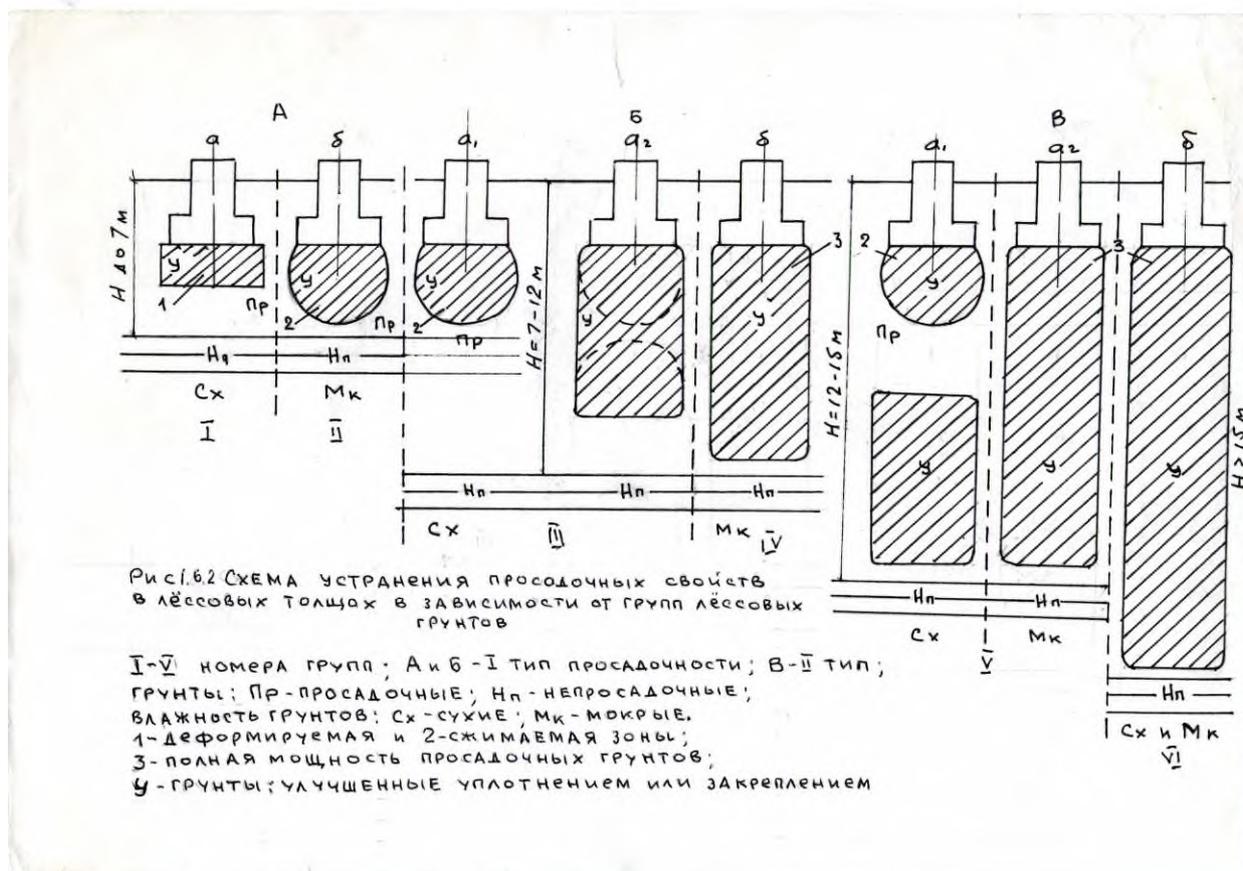
Лессовые грунты II типа просадочности - мощность просадочных лессовых грунтов до 12-15м. Группа лессовых грунтов №V. Противопросадочные мероприятия рекомендуется осуществлять в пределах всей просадочной толщи.

При мощности просадочной толщи не более 15м и отсутствии возможности замачивания грунтов основания - рекомендуется устраивать в верхней части толщи водонепроницаемый экран в комплексе с методами, устраняющими просадочные свойства по всей просадочной толще, где возможна просадка от собственного веса грунта (уплотнение глубинной вибрацией, силикатизацией, термическим закреплением, замачиванием в сочетании с уплотнением грунта трамбованием в деформируемой зоне, взрывами после предварительного замачивания).

### Мощность просадочных лессовых грунтов свыше 15м

Группа лессовых грунтов №VI. Устранение просадочных свойств должно осуществляться обязательно по всей глубине лессовой толщи. При этом, рекомендуется широкий комплекс методов глубинного и поверхностного устранения просадочности грунтов: грунтовые сваи и поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками; глубинное виброуплотнение с поверхностным уплотнением грунтов, уплотнение взрывами после предварительного замачивания и доуплотнение грунтов на поверхности. Целесообразна силикатизация или прорезка просадочной толщи фундаментами из закрепленного грунта.

На рис 2 приводится схема устранения просадочных свойств в лессовых толщах в зависимости от групп лессовых грунтов.



## РАЗДЕЛ 2. Водонасыщенные песчаные и мелкодисперстные грунты

### 2.1 Динамическая устойчивость водонасыщенных грунтов.

2.1.1 Песчаные и мелкодисперстные грунты имеют достаточно широкое распространение на территории Узбекистана. Пески принимают участие в строении низких террас и дельт наиболее крупных рек: Сырдарья, Амударья, Сурхандарья, Кашкадарья, Заравшан и по генезису относятся к аллювиальным образованиям.

В конусах выноса получили развитие пролювиально-аллювиальные отложения. В пустынных и степных районах: Кызылкумы, Заунгузские Каракумы, Голодностепский район, Ферганская долина – развиты эоловые образования.

2.1.2 Песчаным грунтам Узбекистана в силу естественных (природных) или техногенных условий присуще обводнение, т.е. они зачастую находятся в водонасыщенном состоянии.

2.1.3 Водонасыщенные песчаные грунты особенно мелкие и мелкодисперсные относятся к структурно-неустойчивым, так как при соответствующих условиях: гидрогеологических (гидравлическом подпоре) или при воздействии на них различных динамических нагрузок: сейсмических, волновых, ветровых, ударных, движения транспорта и многих других способны к потере своей устойчивости или к переходу в динамически неустойчивое состояние.

2.1.4 Переход водонасыщенных грунтов при динамических воздействиях в динамически неустойчивое состояние зависит от целого ряда факторов: внешних и внутренних.

2.1.5 В зависимости от свойств и состава водонасыщенных грунтов (внутренние факторы), характера и длительности приложенных динамических (ударных и вибрационных), а также статических нагрузок (внешние факторы), неблагоприятные последствия динамического воздействия, могут проявляться в виде вибропросадочности, пловунности и разжижения.

2.1.5.1 Выбропросадочностью называется способность грунта к дополнительному уплотнению при динамическом воздействии.

2.1.5.2 Пловунность – это способность водонасыщенных дисперсных грунтов переходить в подвижное состояние при вскрытии их горными выработками. При этом выделяют: истинные пловуны – пески, содержащие коллоидные частицы, придающие подвижность песку и, псевдопловуны – чистые пески, подвижность которых обуславливается гидрогеологическим режимом (подпором) или динамическим воздействием.

2.1.5.3 Разжижение песков – наиболее грозное явление, связанное с динамическим воздействием. Разжижение грунтов тесно связано с явлением тиксотропии.

2.1.5.4 Тиксотропия – разрушение структуры грунта при механическом воздействии и последующее самопроизвольное развитие ее во времени. Тиксотропия представляет собой обратимый изотермический процесс: многократные динамические воздействия одной и той же интенсивности приводят к одним и тем же последствиям. Упрочнение при разжижении – необратимый процесс: после уплотнения грунт практически теряет способность к разжижению под действием таких же, как первоначальная, динамических нагрузок. Для повторного проявления разжижения необходимы более мощные динамические воздействия.

2.1.6 Возможность проявления вышеперечисленных неблагоприятных явлений, связанных с динамическим воздействием на грунт и степень их проявления зависят от динамической устойчивости грунтов.

Под динамической устойчивостью понимается сопротивление грунтов динамическому воздействию, определяемое рядом внешних и внутренних факторов. В общем случае условие, устойчивость грунта на строительной площадке можно представить в виде уравнения:

$$\tau \pm \Delta \tau_{\dot{A}}(t) \leq [G - P(t) \pm \Delta G_{\dot{A}}(t)] tg \varphi \quad (2.1.1)$$

где  $\tau$  и  $G$  – касательные и нормальные напряжения в скелете грунта до приложения динамической нагрузки;

$\Delta \tau_{\dot{D}}(t); \Delta G_{\dot{D}}(t)$  – дополнительные напряжения в период действия динамической нагрузки;

$P(t)$  – избыточное давление в поровой воде, возникающее в результате действия динамической нагрузки;

$tg \varphi$  - тангенс угла внутреннего трения.

2.1.7 К видам динамических воздействий, возникающих на строительной площадке относятся (таблица 2.1.1)

Таблица 2.1.1

Виды динамических воздействий	Параметры воздействий	Максимальное ускорение колебания частиц грунта, мм/с <sup>2</sup>	Относительное ускорение, α/g, мм/с <sup>2</sup>
Сейсмические	6 баллов	300 – 600	310 – 610
	7 баллов	610 – 1200	620 – 1220
	8 баллов	1210 – 2400	1230 – 2440
	9 баллов	2410 - 4800	2460 - 4890
Промышленные	Машина с вращающимся двигателем при числе оборотов 1200 об/мин и амплитуде колебания 0.1мм	390	400

## 2.2 Показатели динамической устойчивости

2.2.1 В качестве критерия возможности динамического нарушения структуры водонасыщенного грунта принимается так называемый показатель критического ускорения колебания,  $\alpha_{кр}$ , мм/с<sup>2</sup>, м/с<sup>2</sup>.

Критическим называют такое ускорение колебания частиц грунта, при превышении которого интенсивность связанного с ним силового воздействия нарушает структуру грунта – водонасыщенный грунт переходит в динамически возбужденное состояние, т.е. разжижается.

2.2.2 Условием динамической устойчивости водонасыщенного грунта по методу критических ускорений является соблюдение выражения, когда:

$$\alpha_{расч.} \leq \alpha_{кр.} \quad (2.2.1)$$

где  $\alpha_{расч.}$  – расчетное ускорение колебания, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>;  
 $\alpha_{кр.}$  – критическое ускорение колебания, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>.

При сейсмических воздействиях:

$$\alpha_{расч} = \alpha_c K_{зан.} \quad (2.2.2)$$

где  $\alpha_c$  – сейсмическое ускорение колебаний, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>  
 $K_{зан.}$  – коэффициент запаса на негармоничность колебаний, равный 1.5-2.0.

При значениях расчетного или действующего ускорения колебания больше критического, водонасыщенная масса грунта переходит в динамически неустойчивое состояние, происходит нарушение структуры грунта и как следствие, проявление процесса разжижения.

2.2.3 Критическое ускорение колебания присуще каждому виду грунта, в зависимости от его состава и состояния и определяется в лабораторных или полевых условиях по методу критических ускорений (метод Н.Н.Маслова), по специальным программам на виброустановках или расчетным путем (раздел 2.4).

Сущность метода критических ускорений, методика проведения испытаний, обработка результатов регламентируются «Методическими

указаниями по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях», разработанной ЗПЛИТИ и утвержденных Госкомархитектстроем за №13 от 6.03, 2000г.

2.2.4 Исследования по определению критического ускорения  $\alpha_{кр.}$  выполняются с целью получения исходных данных для выбора мероприятий по обеспечению динамической устойчивости указанных выше грунтов, при использовании их как основания или материала земляных сооружений.

2.2.5 В песчаных грунтах процесс разжижения проявляется быстротечно, при этом происходит уплотнение песка.

В связанных грунтах процесс разжижения имеет более сложную физико-механическую природу, связанную с изменением внутренних связей грунта при вибрации и приводит к таким явлениям, как пływунность и тиксотропия. Процесс этот более длительный, начало деформации связных грунтов в отличие от несвязных происходит не с момента приложения динамической нагрузки, а по истечении некоторого отрезка времени.

При переходе грунта в динамически неустойчивое (разжиженное) состояние образуются восходящие токи отжимаемой воды, создается силовое поле, которое характеризуется значением динамических напоров  $h_z$ .

## 2.3 Факторы, влияющие на динамическую устойчивость грунтов

2.3.1 Критическое ускорение колебания, как показатель динамической устойчивости грунтов, присуще каждому виду грунта и зависит от целого ряда внешних и внутренних факторов (рисунок 2.3.1).

2.3.2 Критическое ускорение колебания для песчаного грунта является функцией факторов (внутренних и внешних)

$$\alpha_{кр.} = f(A, P_n, \rho_d, T, d_{cp}, P_m, \lambda, P, P_3, P_0, I_d) \quad (2.3.1)$$

где  $A$  – параметры колебания (амплитуда, частота);

$P_n$  – внешняя нагрузка (нормальное напряжение) в грунте;

$\rho_d$  – плотность скелета, г/см<sup>3</sup>;

$T$  – длительность колебания, с;

$d_{cp}$  – крупность частиц песка (средний диаметр);

$P_m$  – показатель максимальной неоднородности;

$\lambda$  – показатель морфологии песка;

$P_3$  – минеральный состав;

$P_0$  – органический состав;

$I_d$  – относительная плотность.

Для лессового (глинистого) грунта

$$\alpha_{кр.} = f(A, P_n, \rho_d, T, P_3, P_0) \quad (2.3.2)$$

2.3.3 К внешним факторам относятся, прежде всего, напряженное состояние грунта, зависящее от нормальной внешней нагрузки и параметров динамического воздействия (амплитуда, частота и продолжительность колебания), определяющих интенсивность динамического воздействия.

Зависимость критического ускорения от нагрузки представляется в виде

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\delta} = \alpha_{\varepsilon\delta}^0 + mP_n \quad (2.3.3)$$

где  $P_n$  – нормальное напряжение (нагрузка), МПа;  
 $m$  – угловой коэффициент;  
 $\alpha_{\varepsilon\delta}^0$  – критическое ускорение присущее тому или иному виду  
грунта без нагрузки, мм/с<sup>2</sup>;  
 $\alpha_{\varepsilon\delta}^{\delta}$  – тоже под нагрузкой, мм/с<sup>2</sup>.

Зависимость критического ускорения от параметров колебания представляется в виде:

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon} = \alpha_{\varepsilon\delta}^i + m\dot{A} \quad (2.3.4)$$

где  $\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon}; \alpha_{\varepsilon\delta}^i$  – значения критического ускорения соответственно при  
конечных и начальных амплитудах колебания, мм/с<sup>2</sup>.

2.3.4 К внутренним факторам относятся: структурные особенности (для  
песков: крупность, однородность, окатанность и обработанность т.е.  
морфология песчаных частиц), вещественный состав (минеральный,  
содержание органики, солей), плотность сложения, а для лессовых грунтов  
дополнительно и связность.

2.3.5 Общая структура формулы для оценки возможного влияния  
внутренних факторов на величину критического ускорения имеет вид:

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon} = \alpha_{\varepsilon\delta}^i \pm \sum_1^n \Delta\alpha_i \quad (2.3.5)$$

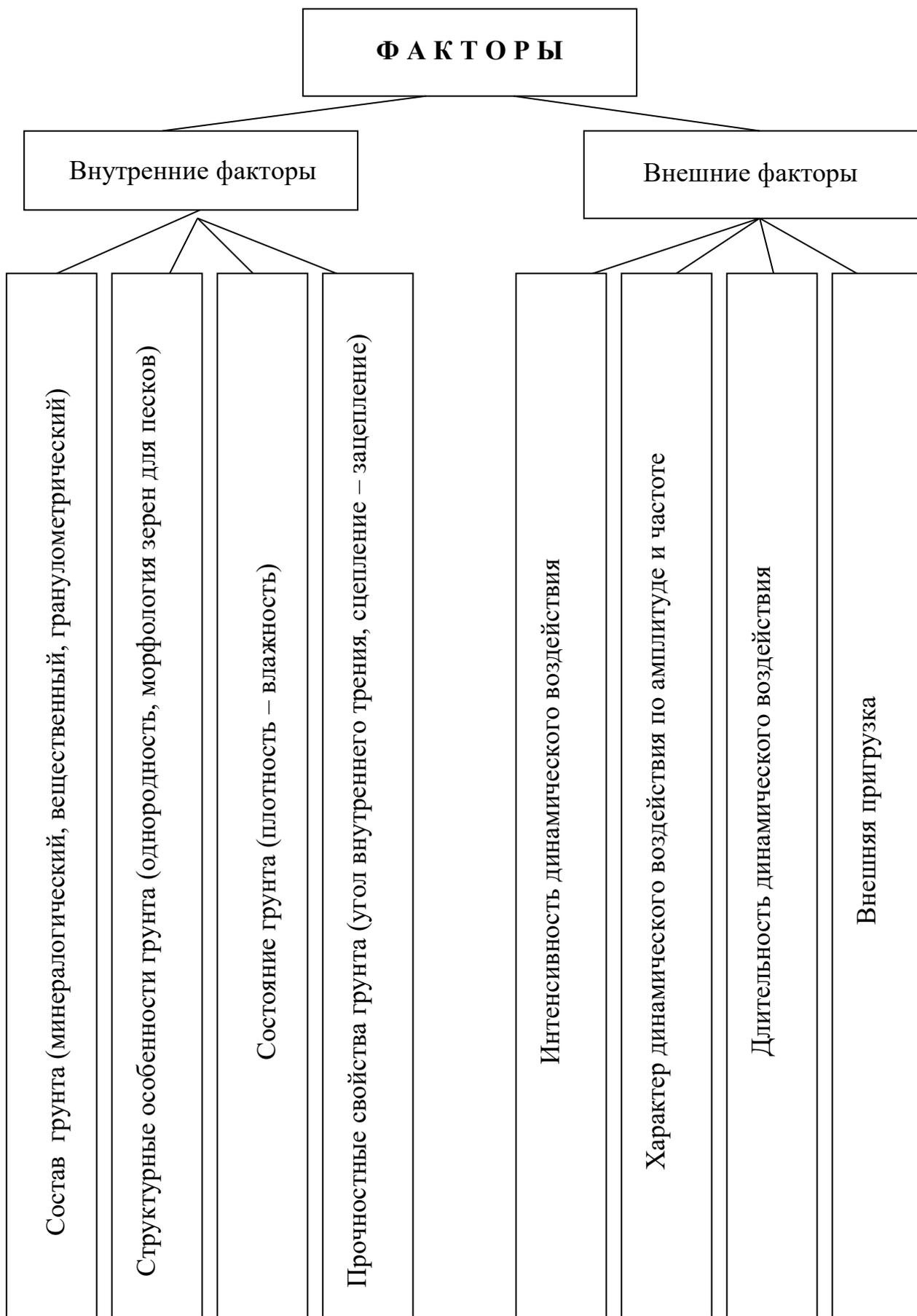


Рисунок 2.3.1 – Факторы, влияющие на динамическую устойчивость песков.

где  $\alpha_{\varepsilon\delta}^{\dot{e}}$  - искомая величина критического ускорения колебания, мм/с<sup>2</sup>;

$\alpha_{\varepsilon\delta}^i$  - начальное критическое ускорение, присущее тому или иному виду грунта, определяется расчетным или опытным путем;

$\Delta\alpha_i$  - величина приращения или уменьшения критического ускорения в зависимости от *i*-го фактора;

*n* – число факторов.

2.3.6 Установлено, что неоднородность и необработанность песков повышают величину критического ускорения.

Роль морфологии песков в суммарном влиянии внутренних факторов на их динамическую устойчивость составляет от 67 до 96%. Под морфологией песков понимается обработанность и окатанность песчаных частиц. Морфология песков оценивается по показателю морфологии  $\lambda$ . При  $\lambda \leq 0.38$  пески считаются необработанными, при  $\lambda > 0.38$  – обработанными.

2.3.7 Содержание легкорастворимых солей и органических остатков, даже в незначительном количестве (в пределах 2-3%), снижает динамическую устойчивость грунтов, например, песчаных в 1.5-2 раза.

Диапазон возможного изменения  $\alpha_{кр.}$  песков в зависимости от ряда внутренних факторов приводится в таблице 2.3.1.

### Диапазон возможного изменения критического ускорения песков в зависимости от внутренних факторов

Таблица 2.3.1

Фактор	Вид песчаного грунта по крупности (РСТ Уз 25100-95)	Показатель неоднородности, $P_m$	Диапазон возможн. изменения критич. Ускорения $\alpha_{кр} \pm \Delta d_i$ , мм/с <sup>2</sup> , в зависимости от <b>i</b> -го фактора при относительной плотности песка $I_d$	
			$I_d = 0.33$	$I_d = 0.66$
1	2	3	4	5
Неоднородность, $P_m$	<u>Средней крупности</u>			
	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$150 \pm 50$	$350 \pm 100$
	<u>Крупный</u>			
	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$270 \pm 50$	$470 \pm 100$
<u>Гравелистый</u>	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$550 \pm 50$	$800 \pm 100$
	в) исключительно неоднородный	$P_m > 40$	$850 \pm 100$	$2500 \pm 150$
Морфология $\lambda$ (для песков одинаковой крупности, одно-	<u>Пылеватый</u>			
	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$100 \pm 25$	$200 \pm 50$
	в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$100 \pm 50$	$400 \pm 100$
	<u>Мелкий</u>			

родности и веществен- ного состава)	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$100 \pm 25$	$300 \pm 50$
	в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$250 \pm 50$	$450 \pm 100$
	<u>Средней крупности</u>			
	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$250 \pm 25$	$300 \pm 50$
в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$300 \pm 50$	$700 \pm 100$	
Примечание $P_m$ – показатель максимальной неоднородности, $\ddot{I}_i = d_{50} = \frac{d_{95}}{d_5}$ $d_5, d_{50}, d_{95}$ – характерные диаметры песчаных частиц.				

2.3.8 Простейшая зависимость критического ускорения для песков в зависимости от их окатанности при отсутствии внешней пригрузки является функцией в виде

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(10 \cdot I_d^\lambda) \quad (2.3.6)$$

где  $\lambda$  - показатель, зависящий от крупности и окатанности песчаных частиц и равный от 2.5 до 3.5.

2.3.9 Критическое ускорение для песчаных грунтов с учетом ряда внешних и внутренних факторов выражается следующей зависимостью:

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(\overset{\circ}{A} \overset{\circ}{A}^\delta \cdot I_d^n) \quad (2.3.7)$$

где  $p, n$  – коэффициенты, зависящие от свойств грунта и условий проведения опыта;

$E$  – коэффициент, связанный с формой (морфологией) песчаных частиц

$$E = 264.1 N^{0.83} \quad (2.3.8)$$

где  $N$  – процент содержания угловатых (неокатанных) зерен песка

тогда

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(264.1 N^{0.83} A \cdot I_d^n) \quad (2.3.9)$$

2.3.10 В целом динамическая устойчивость песков повышается от крупности, гранулометрической неоднородности, необработанности песчаных зерен. Нагрузка повышает динамическую устойчивость любого вида грунта.

Увеличение частоты колебаний или уменьшение амплитуды, увеличение содержания солей и органики, напротив, снижает динамическую устойчивость грунтов.

Длительность воздействия в первой стадии разрушает структуру грунта, но во второй стадии приводит к значительному уплотнению и упрочнению структурных связей грунта, требующих в дальнейшем приложения более значительных динамических нагрузок для их разрушения.

Повышение прочностных характеристик грунтов  $c$  и  $\varphi$  способствует Повышению динамической устойчивости грунтов.

2.3.11 В качестве критерия оценки изменения динамической устойчивости грунта под влиянием того или иного фактора, предлагается коэффициент изменчивости критического ускорения  $K_{\text{изм.кр}}$ .

Под  $K_{\text{изм.кр}}$  – понимается отношение абсолютных значений критических ускорений, соответствующих крайним значениям показателей крупности состава, неоднородности, морфологии (для песков) и других факторов.

$$\hat{E}_{\text{эци.эд.}} = \frac{\alpha_{\text{эд.}}^{\text{ìàèñ.}}}{\alpha_{\text{эд.}}^{\text{ìèí.}}} \quad (2.3.10)$$

где  $\alpha_{\text{эд.}}^{\text{ìàèñ.}}$ ,  $\alpha_{\text{эд.}}^{\text{ìèí.}}$  – показатели критического ускорения одного вида грунта при максимальном и минимальном значении того или иного показателя (однородность, морфология, вещественный состав и т.п.).

В таблице 2.3.2 приводятся возможные значения коэффициента изменчивости критического ускорения песков в зависимости от того или иного фактора.

2.3.12 В лессовых грунтах при динамических воздействиях, проявляется способность грунтов к вибропросадке (в сейсмических условиях сейсмопросадке), которая определяется по формуле:

$$S_c = \sum_0^H h_c \frac{e_0 - e_c}{1 + e_0} \quad (2.3.11)$$

где  $S_c$  – величина сейсмопросадки;  
 $h_c$  – мощность слоя грунта, подвергаемого виброуплотнению;  
 $e_0$  – начальный коэффициент пористости до вибрации;  
 $e_c$  – тоже после вибрации.

Показателем вибропосадки (сейсмопросадки) является показатель:

$$l_c = \frac{\Delta h}{h} = \frac{e_0 - e_c}{1 + e_0} \quad (2.3.12)$$

где  $\Delta h$  – величина уменьшения высоты образца после вибропросадки;  
 $h$  – первоначальная высота образца.

## Значение коэффициента изменчивости критического ускорения

Таблица 2.3.2

Фактор	Вид песчаного грунта по крупности (РСТ Уз 25100-95)	$K_{изм.кр.}$ при относительной плотности песка	
		$I_d=0.33$	$I_d=0.66$
Неоднородность, $P_m$	Пылеватый	1.3	1.3
	Мелкий	-	-
	Средней крупности	1.4	1.3
	Крупный	1.2	1.2
	Гравелистый	1.4	1.6
Морфология, $\lambda$	Пылеватый	1.40	1.30
	Мелкий	1.50	1.30
	Средней крупности	1.60	1.35
	Крупный	1.1	1.1
Сумма всех внутренних факторов ( $d_{ср}, P_m, \lambda, P$ )	Пылеватый	1.5	1.4
	Мелкий	1.75	1.35
	Средней крупности	2.4	1.9
	Крупный	1.2	1.2
Доля морфологии в суммарном влиянии факторов, %	Пылеватый	9.2	9.2
	Мелкий	8.6	9.6
	Средней крупности	6.7	7.1
	Крупный	9.2	9.2
Химический состав, $P_3$ (содержание солей)	Средней крупности	3.0	2.7
	Гравелистый	1.6	1.40
Содержание органических веществ, $P_0$	Средней крупности	2.1	1.6
	Гравелистый	3.25	2.40

2.3.13 Под вибропросадкой (сейсмопросадкой) понимается дополнительная просадка увлажненного лессового грунта при динамическом (сейсмическом) воздействии на проявленопросадочный грунт в статических условиях.

Сейсмопросадка от общей просадочной деформации увлажненного просадочного грунта может в 2-3 раза превышать просадку грунта в статических условиях и достигать до 80% от общей величины деформации грунта.

2.3.14 Сейсмопросадка лессового грунта также зависит от целого ряда внутренних и внешних факторов: состава, состояния и свойств лессового грунта интенсивности, параметров и длительности колебания, от общего напряженного состояния грунтовой толщи. Способствующими факторами к

проявлению сейсмопросадки являются однородность и пылеватость частиц, степень водонасыщения грунта, рыхлое сложение, пониженные прочностные показатели. Сейсмопросадка зависит так же от интенсивности, частоты, длительности колебания, общего напряженного состояния, мощности грунтовой толщи.

Сейсмопросадка начинается не сразу после приложения к грунту динамической нагрузки, а по истечению некоторого отрезка времени, необходимого для разрушения внутренних структурных связей грунта.

## 2.4 Методы оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов

### 2.4.1 Общие положения.

2.4.1.1 Основным условием динамической устойчивости грунтов является сопоставление сопротивляемости грунтов сдвигу в динамических  $S_{дин}$  и статических  $S_{ст}$  условиях, когда

$$S_{ст} \geq S_{дин} \geq 0 \quad (2.4.1)$$

при условии:  $S_{дин} = S_{ст}$  сопротивляемость грунтов сдвигу с переходом их в динамический режим не меняется. Это условие соответствует грунтам с повышенной плотностью скелета или относительно слабом динамическом воздействии, когда  $\alpha_{кр} \geq \alpha_{дин}$  и грунты находятся в динамически устойчивом состоянии.

2.4.1.2 При проектировании сооружений в сейсмических районах используется метод инерционных сил

$$S = \pm E P \quad (2.4.2)$$

где  $P$  – вес сооружения;

$E$  – коэффициент сотрясения

$$\ddot{A} = \frac{\alpha_{max}^c}{g} \quad (2.4.3)$$

где  $\alpha_{max}^c$  - максимальное сейсмическое ускорение;

$g$  - ускорение силы тяжести, мм/с<sup>2</sup>.

2.4.1.3 Методы оценки динамической устойчивости сооружений, возводимых на водонасыщенных грунтах требуют выполнения 2<sup>х</sup> основных положений:

I – оценка степени устойчивости основания сооружения

II – оценка прочности самого сооружения, под воздействием приложенных к нему инерционных сил.

По I<sup>ому</sup> положению является выполнения основного требования обеспечения динамической устойчивости водонасыщенных грунтов – недопущение их перехода в динамически неустойчивое состояние, т.е. выполнение известного условия 2.2, когда  $\alpha_{расч} \leq \alpha_{кр}$  или при сейсмических воздействиях  $\alpha_{расч} = \alpha_c K_{зан} \leq \alpha_{кр}$ .

2.4.1.4 Методы оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов включают: лабораторный, полевой и расчетный методы.

2.4.2 Лабораторный метод – динамическая устойчивость грунтов определяется в лабораторных условиях по методу критических ускорений с использованием виброустановки (метод Н.Н.Маслова). Описание виброустановки, ее подготовка к испытанию различных видов грунтов (связных и несвязных), методика проведения испытаний и обработка результатов испытаний регламентируется «Методическими указаниями по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях», разработанной ЗПЛИТИ и утвержденных Госархитектстроем за №13 от 6.03.2000г.

2.4.3 Полевой метод отличается от лабораторного только в масштабности применяемого оборудования и в возможности испытания значительно большего объема грунта.

Имеются и другие методы испытания:

- метод консолидации грунтов (Н.Н.Маслов, П.Л.Иванов)
- полевой метод взрывного зондирования (В.А.Афанасьев, П.Л.Иванов)

2.4.4 Расчетный метод.

2.4.4.1 Для предварительной оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов используется расчетный метод. Для общего случая, когда грунт обладает, помимо трения между частицами и некоторыми силами сцепления (для связанных грунтов) и пригружен сверху нагрузкой, равной весу сооружения и собственному весу грунта, формула для определения критического ускорения имеет вид:

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 g (P_n \operatorname{tg} \varphi_w + C_w)}{\gamma_w H} \quad (2.4.4)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, мм/с<sup>2</sup>;

$P_n$  – нагрузка от собственного веса грунта и веса сооружения;

$\operatorname{tg} \varphi_w$  – тангенс угла внутреннего трения грунта;

$H$  – мощность слоя.

2.4.4.2 Для песчаных грунтов в рыхлом состоянии, когда  $C_w = 0$ , формула имеет вид:

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 g P_n \operatorname{tg} \varphi_w}{\gamma_w H} \quad (2.4.5)$$

или рассматривая  $P_n = \gamma_w + P_n(\gamma_w z$  – собственный вес грунта;  $P_n$  – вес сооружения) для случая  $P_n=0$  и  $C_w=0$

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 \cdot g \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi}{H} \quad (2.4.6)$$

2.4.4.3 Процесс виброуплотнения грунта характеризуется также коэффициентом динамического уплотнения, характеризующим скорость уплотнения грунтов  $v_n$ :

$$v_n = \frac{\Delta n}{\Delta t}, 1/c \quad (2.4.7)$$

где  $\Delta n$  – изменение пористости грунта в долях единицы;

$\Delta t$  – отрезок времени, с.

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации, см/с.

И модулем динамического уплотнения,  $A_n$ ; 1/см

$$A_n = \frac{1}{\Delta n} \quad \text{или} \quad A_n = \frac{\Delta n}{K_\phi} \quad (2.4.8).$$

2.4.4.4 Добавление различных компонентов в состав исследуемого грунта позволяет установить зависимость критического ускорения от различных внутренних факторов, характеризующих свойства, строение и вещественный состав грунта (наличие органических веществ, солей и т.п.). Создание внешней пригрузки и изменение параметров динамического воздействия позволяет установить зависимость критического ускорения от внешних факторов.

2.4.4.5 Для песчаных грунтов на величину критического ускорения существенное влияние оказывает крупность и морфология их зерен (т.е. форма и характер их поверхности).

С учетом крупности и морфологии песчаных зерен формула (2.4.5) приобретает вид:

$$\alpha_{\text{эд.}} = \frac{1.57g}{H} (P_n \text{tg} \varphi + \text{tg} \varphi \sqrt{\frac{2P_n d_{\text{ср.}}}{E_\phi - \lambda}}) \quad (2.4.9)$$

где  $d_{\text{ср.}}$  – средний диаметр частиц песка, мм;

$\lambda$  - показатель морфологии;

$E_y$  – модуль упругости.

2.4.4.6 Ориентировочные значения критических ускорений колебания для песчаных грунтов характеризуются данными таблицы 2.4.1.

## Значения критических ускорений для песчаных грунтов

Таблица 2.4.1

Вид песка по крупности	Вид песка по морфологии зерен	Критическое ускорение при отно-сит. плотности песков, мм/с <sup>2</sup>	
		$I_d \leq 0.33$	$I_d \leq 0.66$
1	2	3	4
Пылева-тый	Необработанный $\lambda < 0.38$	500-600	1200-1500
	Обработанный $\lambda > 0.38$	400-500	1000-1100
Мелкий	Необработанный $\lambda < 0.38$	500-700	1400-1600
	Обработанный $\lambda > 0.38$	400-600	1100-1200
Средней крупности	Необработанный $\lambda < 0.38$	700-900	1700-2100
	Обработанный $\lambda > 0.38$	600-800	1200-1700
Крупный	Необработанный $\lambda < 0.38$	900-1100	2100-2300
	Обработанный $\lambda > 0.38$	700-900	1700-2000
Гравелис-тый	Необработанный $\lambda < 0.38$	1300	3100
	Обработанный $\lambda > 0.38$	1100	2300-2500

Примечания: 1. Меньшие значения критических ускорений соответствуют однородным пескам, большие – неоднородным;  
 2.  $\lambda$  - показатель морфологии песка, определяемый экспресс методом, разработанным А.Д.Потаповым.

2.4.4.7 Ориентировочные значения критических ускорений лессовых грунтов характеризуются данными таблицы 2.4.2.

## Значение критического ускорения лессовых грунтов

Таблица 2.4.2

Вид грунта	Средняя мощность Н, м	Угол внутрен-него трения, град.	Общее сцепле-ние, КПа	Критическое ускорение, мм/с <sup>2</sup>
Лессовидные супеси	4.5	27°	6.5	1380
Лессовидные суглинки	2.0	24°	14.0	925
Лессовидные суглинки	18.0	26°	17.9	400
Лессовидные суглинки и супеси	14.0	27°	20.7	610

Примечание: Данные о критическом ускорении соответствуют природным грунтовым условиям без учета давления от веса сооружения.

## **2.5 Мероприятия по обеспечению динамической устойчивости водонасыщенных грунтов.**

### **2.5.1 Общие положения.**

2.5.1.1 Все виды мероприятий при обеспечении динамической устойчивости водонасыщенных грунтов сводятся к двум основным:

- а) предотвращающие возможность возникновения явлений разжижения;
- б) уменьшающие вредные последствия явлений разжижения.

Сущность всех этих мероприятий сводится к повышению значения критического ускорения с целью обеспечения известного условия, когда  $\alpha_{кр.} \geq \alpha_{(с)}$  или  $\alpha_{расч.}$ . Обеспечение этого требования достигается путем улучшения прочностных характеристик грунта, а так же увеличения величины нормального напряжения.

2.5.1.2 К мероприятиям, направленным на повышение прочностных характеристик грунтов основания относятся:

- механическое уплотнение грунтов в пределах всей толщи слабого грунта;
- химическое закрепление грунтов;
- термическая обработка;
- отвод грунтовых вод (дренаж);
- уплотнение грунтовой толщи взрывом, вибрацией и т.п.;
- уменьшение слабого слоя или прорезка его сваями.

2.5.1.3 Для песчаных грунтов статическое уплотнение довольно трудоемкий процесс и не всегда удается достигнуть необходимой его плотности сложения. В таких условиях целесообразно использовать пригрузку. Большое значение для повышения критического ускорения в песчаных грунтах имеет их гранулометрический состав, неоднородность и морфология. Более крупные, неоднородные и необработанные пески имеют большие значения критических ускорений по отношению к мелким, однородным и обработанным.

2.5.1.4 При оценке динамической устойчивости песчаных грунтов требуется дифференцированный подход к их гранулометрическому и вещественному составу с учетом морфологии зерен.

При подборе песков, используемых в качестве материала земляных сооружений или оснований, при возможном динамическом воздействии, предпочтение следует отдавать пескам крупным, неоднородным и необработанным.

Для земляных сооружений, воздвигаемых из песков, возможен искусственный их подбор, путем добавки в чистые пески (мелкие, однородные, обработанные) более крупных, разнородных и необработанных их разновидностей.

### **2.5.2 Мероприятия по обеспечению устойчивости оснований.**

К мероприятиям по обеспечению динамической устойчивости оснований сооружений относятся

- ослабление интенсивности динамического воздействия;
- увеличение заглубления сооружения;
- пригрузка боковых граничных зон;

- сокращение мощности слабых грунтов;
- использование свайных фундаментов;
- использование ограждений;
- уплотнение грунта;
- дренаж.

### 2.5.3 Мероприятия по обеспечению устойчивости откосов земляных сооружений.

К данным мероприятиям относятся:

- уплотнение грунтовых масс;
- подбор материала и уположение откоса;
- пригрузка откоса;
- развитие профиля сооружения;
- применение дренажа;
- конструктивные мероприятия, применение в сооружении ядер, диафрагм, экранов и т.п.

Применение в сооружении более грубого материала повышает их устойчивость.

Степень динамической устойчивости откоса может быть повышена за счет его уположения и повышения коэффициента запаса

$$\eta = \frac{tg \varphi}{tg \alpha} \geq 1 \quad (2.5.1)$$

где  $tg \varphi$  - тангенс угла внутреннего трения

$tg \alpha$  - тангенс угла естественного откоса.

## **2.6 Метод сейсмоустойчивого основания**

2.6.1 Для сейсмических районов при определении устойчивости грунта основания рекомендуется метод сейсмоустойчивого основания. Сущность метода сейсмоустойчивого основания заключается в приращении бальности строительной площадки по значению коэффициента сейсмической устойчивости  $K_{уст}$  в виде:

$$\hat{E}_{\delta} = \frac{\alpha_{\delta}}{\alpha_{\bar{n}}} \quad (2.5.1)$$

где  $\alpha_{\delta}$  – максимальное сейсмическое ускорение, соответствующее

бальности по карте сейсмического районирования территории РУз.

2.6.2 Условием соответствия бальности данной территории к бальности, установленной к данному району, является  $K_{уст}=1.0$ . Коэффициент сейсмической устойчивости  $K_{уст}$  используется в расчетах в качестве поправочного коэффициента, учитывающего грунтовые условия в виде:

$$\hat{E}_{\bar{n}}^{\delta} = \frac{1}{\hat{E}_{\delta}} \hat{E}_{\bar{n}} \quad (2.5.2)$$

где  $\hat{E}_{\bar{n}}^{\delta}$  - расчетное значение коэффициента сейсмичности;

$K_c$  – коэффициент сейсмичности, соответствующий бальности района.

2.6.3 Мероприятия, направленные на снижение сейсмичности строительной площадки обуславливаются мероприятиями повышающими критическое ускорение колебания грунтов основания. Снижение расчетного ускорения колебания приводит к уменьшению мощности активной зоны, что также обуславливает снижение сейсмичности площадок.

2.6.4 При достижении основного условия динамической устойчивости, когда  $\alpha_{расч} \leq \alpha_{пр}$  по всей толще грунта в основании или теле земляного сооружения, вопрос динамической устойчивости следует считать как не имеющий интереса.

При условии  $\alpha_{расч} \geq \alpha_{пр}$  возникает необходимость обеспечения устойчивости основания или сооружения и принятия тех или иных защитных мероприятий.

## **2.7 Основные положения по проектированию на водонасыщенных грунтах с учетом их динамической устойчивости в сейсмических условиях.**

2.7.1. Для естественных оснований зданий и сооружений динамическая устойчивость водонасыщенных грунтов при сейсмических воздействиях не имеет принципиального значения: во-первых, в сейсмических районах сейсмические воздействия имели и имеют постоянный исторический цикл и грунты уже приобрели соответствующую динамическую устойчивость; во-вторых, положительную роль на устойчивость грунтов имеет вес здания или сооружения, играя роль пригрузки.

2.7.2. Динамические воздействия от машин и механизмов с динамическими нагрузками учитываются КМК2.02.05-98 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками». В связи с чем более целесообразно рассмотреть особенности проектирования земляных сооружений с учетом их динамического режима.

2.7.3. Ниже даются некоторые рекомендации по проектированию сооружений при сейсмическом (динамическом) на них воздействии.

- Деформационные и прочностные свойства глинистых и песчаных грунтов могут существенно меняться при динамических воздействиях. В условиях водонасыщения, приложение к таким грунтам динамического воздействия любого вида (в т.ч. сейсмического) определенной интенсивности, способно нарушить структуру грунта с потерей его динамической устойчивости и привести к таким неблагоприятным явлениям как: плавунность, разжижение, вибропросадочность.

- Оценке динамической устойчивости подлежат прежде всего затопленные откосы земляных гидротехнических сооружений, выполненные средством намыва без принятия особых мер по их уплотнению, возводимых из пылевато-глинистых (мелкодисперсных) или песчаных грунтов.

Примечание. Настоящие требования не распространяются на земляные сооружения, выполняемые сухим способом с соответствующим уплотнением грунта, за исключением особо ответственных случаев.

- Анализ на динамическую устойчивость сооружений выполняется в дополнении к обычно проводимым расчетам по оценке статической прочности и устойчивости сооружений в соответствии с требованиями КМК2.02.02-98 «Основания гидротехнических сооружений», и с учетом дополнений и изменений, уточняющие требования и испытаниям песчано-глинистых грунтов на разжижение при динамических воздействиях, механической и химической суффозии с учетом закона РУз «О безопасности ГТС» и КМК2.06.04-97 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения».

- Степень устойчивости грунтовых сооружений возводимых в сейсмических районах или испытывающих воздействие в виде колебаний от тех или иных источников, подлежит установлению применительно к интенсивности возможного сейсмического воздействия или динамического режима сооружения для каждого конкретного случая.

- Интенсивность и характер динамического режима определяется ускорением колебания,  $\alpha$ , мм/с<sup>2</sup>, амплитудой колебания  $A$  или частотой  $f$  и длительностью колебания  $t$ . При этом, принимаются их значения по верхнему пределу.

- Обеспечение динамической устойчивости земляных сооружений определяется соблюдением требования, чтобы ни в одной части сооружения расчетная величина, воздействующего на сооружение ускорения колебания  $\alpha_{расч}$  не превышала критического значения колебания  $\alpha_{кр}$ , присущего каждому виду грунта, используемого в сооружении.

Таким образом, основным требованием обеспечения динамической устойчивости затопленных откосов земляных сооружений или оснований является соблюдение известного условия:

$$\alpha_d (\alpha_{расч}) = \alpha_c \times k_{зап} \leq \alpha_{кр} \quad (2.7.1)$$

- Сейсмическое ускорение  $\alpha_c$  мм/с<sup>2</sup> является независимой величиной и соответствует той или иной интенсивности землетрясения в баллах.

Действующее ускорение колебания  $\alpha_d$ , мм/с<sup>2</sup> соответствует конкретному источнику, создающим колебательные движения.

- Критическое ускорение колебания  $\alpha_{кр}$  мм/с<sup>2</sup> такое ускорение колебания частиц грунта при превышении которого интенсивность связанного с ним силового воздействия нарушает структуру грунта – водонасыщенный грунт переходит в динамически возбужденное состояние, что приводит к потере устойчивости масс грунта, его значительному доуплотнению, вплоть до разжижения.

- Критическое ускорение определяется опытным (лабораторным или полевым) путем или расчетом (для предварительной оценки) и регламентируется «Методическими указаниями» разработанными Научно-исследовательским, проектно-технологическим институтом оснований,

фундаментов и подземных сооружений им. К.М.Джумаева (ЗПЛИТИ) и утвержденного Госархитектстроем, приказ № 13 от 6.03.2002 г.

- Увеличение величины критического ускорения и соответственно обеспечение динамической устойчивости земляных сооружений и обеспечение известного условия, достигается путем уплотнения грунтов, подбора для возведения сооружения грунтов с повышенными динамическими характеристиками. Положительную роль играет пригрузка откосов земляного сооружения.

- Проект сооружения составляется с полным учетом динамических свойств грунтов, намеченных к использованию. Важной частью при подборе грунтов, намеченных к использованию для возведения проектируемого сооружения является оценка их динамической устойчивости.

- Критерием визуальной оценки пониженной динамической устойчивости, например, песков являются:

мелкозернистость и пылеватость;

однородность;

окатанность зерн.

Более крупные, разнородные с неокатанной формой зерен пески имеют повышенные динамические характеристики:

наличие органических остатков или легкорастворимых солей снижает динамические характеристики грунтов, а также значения прочностных свойств грунтов.

Засоленные грунты, содержащие в своем составе легкорастворимые соли более 2% по весу не должны допускаться к использованию.

Возможность выноса фильтрующей водой легкорастворимых компонентов из состава грунтов резко снижает их динамическую (сейсмическую) устойчивость.

- Грунты, используемые в теле земляных сооружений должны иметь соответствующую плотность укладки и обеспеченную неизменяемость на период эксплуатации в сторону её уменьшения. Уменьшение плотности на 1.5-2.0% вызывает резкое снижение динамической устойчивости грунтов.

- Величина критического ускорения  $\alpha_{кр}$ , используемая для оценки динамической устойчивости затопленной части земляного сооружения и в необходимых случаях других динамических характеристик, как-то коэффициента  $\nu_n$  и модуля  $A_n$  – динамического уплотнения, устанавливаются в каждом конкретном случае применительно к грунтам намечаемых к использованию с заданной их плотностью, соответствующей ожидаемой, а также с учетом конструктивных особенностей и размеров сооружения (для учета влияния собственного веса грунтовой массы) и его динамического режима.

- Плотность грунта при намыве земляного сооружения должна задаваться проектом с соответствующим контролем за качеством выполняемых работ по опытному намыву в лаборатории или в полевых условиях. Назначение плотности намыва по аналогии с другими объекту допускается лишь на начальных стадиях проектирования до выполнения работ по опытному намыву, с учетом состава и состояния грунтов и их структурных особенностей.

- Учитывая зависимость критического ускорения  $\alpha_{кр}$  от величины пригрузки  $P_0$  и в частности от веса защитного перекрывающего откос слоя, расчетные значения  $\alpha_{кр}$  используемые для сейсмической устойчивости тех или иных частей сооружения должны отвечать условиям работы грунта применительно к воспринимаемой сооружением нагрузке.

- Решающим этапом проектирования является установление необходимости принятия тех или иных “защитных” мероприятий с целью повышения и обеспечения динамической устойчивости проектируемого сооружения.

- Основой решения этих задач является сопоставление значений расчётного ( $\alpha_{расч}$ ) и критического ( $\alpha_{кр}$ ) ускорений в всех частях сооружения с целью соблюдения известного условия (4.7.1).

- Сопоставление  $\alpha_{расч}$  и  $\alpha_{кр}$  выполняется как при проектировании сооружений, так и при его возведении, по данным геотехнического контроля. Данные геотехнического контроля при сопоставлении ускорений позволяют, при необходимости, ввести в проект сооружения уже в процессе его осуществления те или иные изменения, отвечающие реальным условиям возведения сооружения с целью обеспечения его динамической устойчивости. Указанное сопоставление может быть выполнено через один из показателей плотности сложения грунта, например, через пористость  $n$  по сопоставлению с фактической пористостью.  $n_{факт}$  с расчётной  $n_{расч}$ , обеспечивающей необходимое расчётное значение критического ускорения  $\alpha_{кр}$  с целью соблюдения основного условия (4.7.1).

- При соблюдении основного условия обеспечения динамической устойчивости сооружения, когда  $\alpha_{расч(d)} \leq \alpha_{кр}$ , сейсмическая устойчивость сооружения применительно к заданному динамическому режиму считается обеспеченной и сооружение не требует, каких бы-то ни было, мероприятий по повышению его устойчивости, а также с соблюдением условий (2.7.2), связанного с условием (2.7.1)

$$n_{факт} \leq n_{расч} \quad (2.7.2)$$

$$\text{или } \rho_{d \text{ факт}} \leq \rho_{d \text{ расч}}$$

- При несоблюдении указанных условий сооружение считается с динамической стороны недостаточно устойчивым и требующим своего усиления или принятия соответствующих мероприятий по обеспечению динамической устойчивости.

- В целях усиления устойчивости сооружения, прежде всего рассматривается вопрос о замене грунтов используемых для возведения сооружений грунтами с более повышенными динамическими характеристиками из других карьеров.

- При невозможности использования для возведения сооружения грунтов с повышенными динамическими характеристиками рассматривается возможность применения пригрузки откоса тем или иным материалом (камень, галька, щебень и т. п.).

Необходимая толщина такого покрытия определяется исходя из требуемой величины пригрузки  $P_0$ , обеспечивающей соблюдение основного условия (2.7.1).

Весьма положительным является уплотнение используемых грунтов. В принципе уплотнением всегда можно добиться соблюдения известного условия (2.7.1).

- Использование того или иного мероприятия по обеспечению динамической устойчивости сооружения окончательно оценивается технико-экономическим расчётом.

- При возведении земляного сооружения все проектные требования по использованию и раскладке в теле сооружения тех или иных грунтов, а также конструктивные мероприятия должны подлежать безусловному и качественному выполнению.

## **РАЗДЕЛ 3. НАСЫПНЫЕ (ТЕХНОГЕННЫЕ) ГРУНТЫ**

### **3.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**3.1.1.** Насыпные грунты – грунты с нарушенной структурой, образование которых связано с отвалами, отсыпками строительных котлованов, намыва грунтов, вскрышных работ при открытой разработке полезных ископаемых, а также отвалы отходов производства, свалки бытовых отходов, или планомерно возведенные насыпи с уплотнением и без уплотнения.

Насыпные грунты характеризуются деформируемостью и низкой несущей способностью в основании зданий и сооружений в зависимости от степени однородности их сложения, способа и давности образования, а также состава грунтов и отходов.

**3.1.2.** Основания и фундаменты зданий и сооружений, возводимые на насыпных грунтах, проектируются на основе материалов инженерно-геологических исследований строительной площадки, руководствуясь требованиями КМК1.02.07-97 «Инженерные изыскания в строительстве», КМК2.02-01-98 «Основания зданий и сооружений», а так же требованиями настоящих «Рекомендаций...».

**3.1.3.** При проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений на территории Республики Узбекистан в районах распространения просадочных и набухающих грунтов, водонасыщенных песчаных и мелкодисперсных, в районах высокой сейсмичности и на подрабатываемых территориях должны учитываться дополнительные требования к строящимся зданиям и сооружениям в указанных условиях.

**3.1.4.** Проектирование оснований и фундаментов на насыпных грунтах производится исходя из предельной величины средней осадки и предельно допустимой неравномерности (разности) осадок так же, как и для обычных грунтов естественного сложения, согласно требованиям главы 2 КМК 2.02.01-98.

**3.1.5.** Технико-экономическая целесообразность использования насыпных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений определяется исходя из величины модулей деформации грунтов основания и их изменчивости, полученных при инженерно-геологических исследованиях грунтов строительной площадки. На основании исследований устанавливаются методы инженерной подготовки основания, тип фундаментов и соответствующие конструктивные мероприятия.

**3.1.6.** В необходимых случаях в проектах зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах, должны быть предусмотрены наблюдения за осадками зданий и сооружений с устройством реперов, марок и т.п.

Затраты на организацию наблюдений, оборудования реперов, марок и других устройств и на проведение наблюдений в процессе строительства включаются в сметную стоимость строительства.

### **3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ**

**3.2.1.** По РСТ Уз (ГОСТ) 25100-95 Насыпные грунты относятся к классу техногенных дисперсных связных или несвязных антропогенных образований насыпного или намывного происхождения. Среди них выделяются отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, представленные бытовыми или промышленными отходами в виде строительного мусора, шлаков, шламов, золы, шлакоотходов и т.п.

**3.2.2.** Насыпные грунты, используемые в качестве основания зданий и сооружений именуется согласно номенклатуре, установленной КМК2.02.01-98 (таблица 5, приложение 3), с дополнительным указанием видов грунтов в зависимости от:

- однородности состава и сложения;
- способа отсыпки или образования напластования;
- вида исходного материала;
- давности отсыпки.

**3.2.3.** По однородности состава и плотности сложения, насыпные грунты классифицируются как:

- планомерно возведенные насыпи (п.3.2.4.);
- отвалы грунтов и отходов производства (п.3.2.5);
- свалки грунтов и отходов производства и бытовых отбросов (п.3.2.6).

Планомерно возведенные насыпи – насыпи, возведенные по проекту из однородных естественных грунтов путем отсыпки или гидромеханизации, при планировке территории с целью использования её под застройку, с уплотнением грунтов до заданной по проекту плотности (плотности скелета грунта).

Отвалы грунтов и отходов производства – представляют собой отсыпки различных видов грунтов при разработке строительных котлованов, срезки больших площадей при планировочных работах и т.п. или отходов различных производств: шлаков, золы, формовочной земли, отходов обогатительных фабрик и т.п. при содержании в них растительных остатков не более 5%.

Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отбросов, представляют собой отсыпки, образуемые в результате неорганизованного накопления различных материалов, хаотично перемешанных между собой и с содержанием органических включений более 5%.

**3.2.4.** Планомерно возведенные насыпи обычно возводятся с уплотнением и по способу их образования подразделяются на:

- насыпные, отсыпаемые из грунта автомобильным и другим транспортом (скреперами, бульдозерами), с одновременным их уплотнением различными механизмами, включая непосредственное уплотнение при отсыпке движущимся транспортом, либо как отдельная операция после выполнения отсыпки;
- намывные, образуемые с помощью гидромеханизации.

**3.2.5.** Отвалы грунтов и отходов производства по способу их образования подразделяются на:

- отложенные гидромеханизацией (хвосты обогатительных фабрик и химических производств);
- гидрозолоудаление (шлаконакопители);

- отсыпанные по откосу сразу на всю высоту;
- отходы производств, отсыпанные слоями;
- беспорядочную (неорганизованную) отсыпку.

Отвалы производятся как с уплотнением, так и без уплотнения. С уплотнением обычно возводятся отвалы грунтов при возведении гидромеханизацией или при отсыпке слоями и практически мало отличаются по своим свойствам от планомерно возведенных насыпей.

Отвалы отсыпанные по откосу сразу на всю высоту и беспорядочная отсыпка обычно выполняются без уплотнения и характеризуются разнородностью по составу и степени уплотнения.

**3.2.6.** Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отходов по способу их образования подразделяются на:

- отсыпанные по откосу сразу на всю высоту;
- отсыпанные слоями;
- беспорядочную (неорганизованную) отсыпку.

Эти группы свалок, также могут возводиться с уплотнением или без уплотнения и отличаются теми же особенностями, что и отвалы, отсыпанные идентичным образом, но имеют более разнородный состав и сложение по отношению к отвалам.

**3.2.7.** По давности отсыпки или образования насыпные грунты подразделяются на:

- слежавшиеся, в которых процесс уплотнения от собственного веса закончился или стабилизировался;
- неслежавшаяся, в которых процесс уплотнения от собственного веса не закончился (не стабилизировался).

В таблице 3.2.1. приведены ориентировочные периоды времени самоуплотнения грунтов от собственного веса для различных видов насыпных грунтов. По истечении времени, указанного в таблице, насыпные грунты и отходы производства относятся к слежавшимся.

Ориентировочные периоды времени самоуплотнения насыпных грунтов

Таблица 3.2.1

Гранулометрический состав насыпных грунтов и отходов производства	Продолжительность самоуплотнения, год		
	планомерно возведенных насыпей	отвалов	свалок
Крупноблочные	0.2-1	1-3	2-5
Песчаные	0.5-1	2-5	5-10
Пылевато-глинистые	2-5	10-15	10-30

### 3.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

**3.3.1.** Исследования насыпных грунтов производятся по специально разработанной программе, предусматривающей получение исходных данных, необходимых для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений на выбранном участке строительства с учетом вида насыпных грунтов, давности и способа их отсыпки или образования, местных условий строительства и схем конструкций проектируемых зданий и сооружений.

**3.3.2.** В состав работ по инженерно-геологическим исследованиям входят:

- изучение топографических планов с естественным рельефом до образования насыпи, отчетов, содержащих материалы о состоянии ранее возведенных на насыпных грунтах зданий и сооружений, и других материалов по инженерно-геологическим исследованиям, а также по исследованиям физико-механических свойств грунтов, производившихся в пределах района предполагаемого строительства;

- изучение архивных материалов об условиях и времени образования насыпных грунтов на исследуемой площадке;

- инженерно-геологическая съемка территории;

- разведка грунтов бурением, шурфованием и зондированием;

- полевые и лабораторные исследования физико-механических характеристик насыпных и естественных грунтов, слагающих участок застройки;

- составление отчета по проведенным исследованиям грунтов.

**3.3.3.** Инженерно-геологические исследования площадок, сложенных насыпными грунтами, производятся шурфованием и бурением диаметром не менее 127мм, зондированием, а так же испытанием штампами.

Расстояние между разведочными выработками назначаются в зависимости от вида насыпных грунтов, способа их отсыпки с учетом размеров зданий и сооружений в плане.

В зависимости от способа отсыпки расстояния между выработками (скважинами, шурфами) назначаются для:

насыпей, планомерно возведенных	как для обычных грунтов естественного сложения
отвалов и свалок, отсыпанных слоями	до 40м
отвалов и свалок, отсыпанных по откосу на всю высоту	«24»
отвалов и свалок, отсыпанных не организовано	«12»

Количество выработок на отдельном участке должно быть не менее 6, а в пределах каждого капитального здания или сооружения – не менее 3.

**3.3.4.** Глубина проходки всех выработок назначается из расчета выявления всей толщины слоя насыпных грунтов с заглублением в подстилающий слой грунтов естественного сложения в пределах сжимаемой толщи грунтов основания, но не менее 5м.

**3.3.5.** Уточнение состава насыпных грунтов, а также отходов различных производств и бытовых отходов в пределах всей насыпи производится, как правило, по данным проходки шурфов или открытия котлована с помощью механизмов.

Бурение применимо лишь для выявления общего характера напластования грунтов, слагающих площадку строительства, установления глубины их залегания и уровня грунтовых вод в пределах застраиваемого участка.

**3.3.6.** Количество шурфов назначается в зависимости от состава и вида насыпи и размеров зданий или сооружений в плане и принимается равным 1/3 общего количества выработок, но не менее двух шурфов в пределах каждого здания или сооружения.

В полевом журнале шурфования необходимо зарисовывать все стенки шурфов на всю их глубину с описанием основной массы грунтов и материалов, составляющих насыпь, и включений, содержащихся в пределах каждого слоя.

**3.3.7.** Отвалы грунтов из разнородных материалов, а также свалки грунтов (наряду с проходкой шурфов и скважин) должны подвергаться исследованию зондированием (по РСТУз 739-96; РСТУз 740-96).

Зондирование производится с целью установления изменения относительной плотности насыпного грунта по глубине в пределах всей его толщи, а также для выявления места залегания крупных недеформируемых включений, обуславливающих неравномерную сжимаемость грунтов основания. Количество пунктов зондирования назначается по усмотрению проектной и изыскательской организации, но не реже чем под каждый отдельно стоящий фундамент или расстоянию не более 6м при ленточных фундаментах.

**3.3.8.** Отбор проб для лабораторных исследований на площадках, сложенных насыпными грунтами с основным составом из глинистых и песчаных разновидностей грунтов, производится из технических выработок (шурфов или скважин), начиная с отметки заложения фундаментов через 0,5-1м по глубине. При этом должно быть обеспечено исследование состава и свойств грунта каждого прослойка. Отбор проб производится в соответствии требований РСТУз 682-96.

**3.3.9.** Сжимаемость всех видов насыпных грунтов следует определять испытаниями в шурфах штампом размером не менее 0,7×0,7м статистическими нагрузками по методике, установленной ГОСТ 20276-85 «Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости».

Кроме того, по усмотрению проектной и изыскательской организаций, целесообразно производить глубинные испытания отдельных разновидностей насыпных скважин в скважинах штампом площадью 600 см<sup>2</sup>, охватывая основные разновидности встречающихся в пределах всей толщи насыпных грунтов.

**3.3.10.** Испытания статическими нагрузками производятся в пределах расположения проектируемого сооружения и в непосредственной близости к техническим выработкам.

Если толщина исследуемого вида насыпного грунта меньше расчетной сжимаемой толщи основания, а ниже располагаются насыпные грунты иного

состава, способа и давности отсыпки, то испытанию подвергается каждый слой, включая и естественный грунт, залегающий в пределах сжимаемой толщи под проектируемым зданием или сооружением.

Толщина исследуемого слоя каждого вида насыпного грунта под штампом должна быть не менее полуторной ширины подошвы штампа.

**3.3.11.** Количество пунктов испытания грунтов оснований штампами назначается в зависимости от однородности сложения, состава и давности отсыпки насыпных грунтов и принимается по табл.3.3.1.

Таблица 3.3.1

Насыпи	Количество пунктов испытаний грунтов, имеющих сложение	
	однородное	неоднородное
Отвалы	2	3-4
Свалки	3	5

**3.3.12.** Лабораторные исследования насыпных грунтов однородного состава, не содержащих крупных включений, производятся на образцах, отобранных без нарушения структуры.

Исходя из состава, условий образования насыпи, отсыпки, целевого назначения, давности проводимых исследований, комплекс необходимых лабораторных исследований для различных групп и видов насыпных грунтов устанавливается в каждом отдельном случае.

В общем в случае в состав лабораторных исследований насыпных грунтов должны включаться определение плотности скелета и плотности в естественном сложении, влажности, содержания растительных остатков и степени их разложения, гранулометрического состава для песчаных грунтов, пределов пластичности при содержании в них глинистых частиц и относительной просадочности, в соответствии с требованиями соответствующих Республиканских стандартов (РСТУз).

Примечание. Для планомерно возведенных насыпей лабораторные и полевые исследования производятся в том же, комплексе, как и для грунтов естественного сложения.

**3.3.13.** В инженерно-геологическом отчете, составляемом в соответствии с требованиями нормативных документов на инженерные изыскания в строительстве, должен содержаться дополнительный специальный раздел с подробным описанием результатов исследования насыпных грунтов.

Состав насыпных грунтов определяется по материалам визуальной оценки и результатов лабораторных исследований. Последовательность описания включений различных материалов в насыпном грунте устанавливается в зависимости от количественного их содержания в основном составе насыпи.

Состав насыпных грунтов должен иллюстрироваться зарисовками на геологическом разрезе с геотехническими характеристиками. На этом разрезе наносятся результаты зондирования, модули деформации грунтов (по результатам статических испытаний штампом), а также результаты

лабораторных определений с указанием процентного содержания растительных остатков.

### **3.4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ.**

#### **ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ**

**3.4.1.** Проектирование оснований и фундаментов на насыпных грунтах включает в себя: инженерную подготовку основания, определение глубины заложения фундаментов, расчет оснований и конструктивные мероприятия.

**3.4.2.** При расчетных деформациях основания, сложенного насыпными грунтами больше предельных или недостаточной несущей способности, предусматриваются следующие мероприятия:

- поверхностное уплотнение оснований тяжелыми трамбовками, вибрационными машинами, катками;
- глубинное уплотнение грунтами сваями, гидровиброуплотнение;
- устройство грунтовых подушек (песчаных, щебеночных, гравийных и т.п.);
- прорезка насыпных грунтов глубокими фундаментами;
- конструктивные мероприятия.

Перечисленные выше мероприятия за исключением конструктивных составляют инженерную подготовку основания.

**3.4.3.** Отдельные мероприятия или их сочетание выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов, с учетом однородности состава и сложения насыпных грунтов, величины и равномерности их сжимаемости, содержания органических включений, изменения толщины слоя насыпных грунтов, в пределах контуров здания или сооружения, возможных величин осадок фундаментов, особенностей конструкции и назначения зданий или сооружений и т.п.

**3.4.4.** Инженерная подготовка основания значительно повышает равномерность сжимаемости оснований сложенных насыпными грунтами, являющаяся основным условием возможности использования насыпных грунтов в качестве основания зданий или сооружений.

**3.4.5.** В зависимости от гидрогеологических условий участка или площадки строительства применяются следующие способы инженерной подготовки:

*а) для маловлажных грунтов*

поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками до отказа с толщиной уплотненного слоя от 1,5 до 2,5м;

замена всего или части слоя насыпного грунта песком или местным суглинком с послойным уплотнением (т.е. устройство грунтовых подушек);

глубинное уплотнение грунтами сваями с помощью станков ударно-канатного бурения только для насыпных грунтов, держащих вертикальные откосы;

*б) для водонасыщенных грунтов*

замена всего или части слоя насыпного грунта песчаными подушками из однородного крупнозернистого песка или мелкого гравия;

глубинное уплотнение песчаными сваями (с помощью инвентарных свай) и гидровиброуплотнение (только для рыхлых песчаных насыпей).

**3.4.6.** Поверхностное уплотнение насыпных грунтов тяжелыми трамбовками может применяться в случаях, когда насыпь представляет собой отвалы и свалки грунта или отходы производств, не содержащих крупных трудно-разбиваемых включений, за исключением свалок строительного мусора и бытовых отходов. Уплотнение производится в пределах сжимаемой зоны основания в соответствии с требованиями КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» (п.8.5), КМК 3.02.01-97 «Земляные сооружения основания и фундаменты» (разделы 4; 10) и настоящих «Рекомендаций... раздел 1 п.1.4.2).

С учетом следующих дополнительных указаний:

- уплотнение рекомендуется производить железобетонными трамбовками диаметром рабочей поверхности не менее 1,5 м и весом не менее 3,5т;

- величина отказа принимается равной понижению (трамбуемой поверхности) от 2 ударов трамбовки с высоты не менее 6м для глинистых грунтов 1-2см для песчаных грунтов 0,5-1см;

- размеры уплотняемой площади должны превышать размеры подошвы фундамента не менее чем на 0,2 диаметра трамбовки;

- глубина уплотнения назначается по результатам опытного уплотнения и зависит от массы и диаметра трамбовки, высоты сбрасывания, числа ударов, вида грунта. Приблизительно глубина уплотнения  $h_s$  определяется по формуле

$$h_s = kd, \quad (3.4.1)$$

Где  $k$  - коэффициент, принимаемый равным: для крупноблочных, щебенистых (гравелистых грунтов, песков крупных и средней крупности, шлаков  $k=2.2$ ; мелких песков, хвостов обогатительных фабрик, формовочной земли  $k=2$ ; пылеватых песков, супесей, суглинков, золошлаков  $k=1.8$ , глин и шламов  $k=1.5$ ,  $d$ -диаметр трамбовки, м;

- понижение поверхности при уплотнении тяжелыми трамбовками определяется по формуле 1.3.10 (раздел 1). Оптимальная влажность и плотность уплотненного грунта назначается проектом по данным лабораторных определений и уточняются опытным уплотнением.

**3.4.6.** Виброуплотнение и катки применяются при уплотнении на глубину до 1.5м и для уплотнения отдельных слоев при возведении насыпей из грунтов и отходов производств, при степени влажности  $S_2 \leq 0.7$ .

Гидровиброуплотнение применяется для уплотнения насыпных грунтов и отходов производств (хвостов, формовочной земли, золошлаков) с содержанием по массе глинистых частей по массе не более 0.05 и степени влажности  $S_2 \leq 0.7$  в случае необходимости уплотнения на глубину до 6м.

**3.4.1.6.** В случае когда сжимается толща больше толщины слоя уплотняемого грунта (для маловлажных грунтов от 1.5 до 2.5м), поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками может быть выполнено в два слоя.

Для этого котлован отрывается на 1-1.2м ниже отметки заложения фундаментов и производится уплотнение насыпных грунтов. По окончании уплотнения котлован засыпается местным грунтом, с содержанием растительных остатков не более 3%, до отметки, превышающей на 0.1-0.25м глубину заложения фундаментов, после чего выполняется уплотнение этого второго слоя. Общая толщина уплотненного слоя насыпного грунта в этом случае достигает 3.5-4.5м.

Поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками применимо для всех видов маловлажных и влажных насыпных грунтов, при содержании растительных остатков до 10%.

**3.4.8.** Контроль плотности уплотненных насыпных грунтов, а также грунтовых подушек осуществляется лабораторными методами путем определения плотности скелета грунта (метод режущего кольца) или зондированием по сетке скважин со сторонами не превышающими 30м, но не менее чем в 5<sup>ти</sup> точках под каждым зданием или сооружением.

На участках, занимаемых засыпанными оврагами, расстояние между зондировочными скважинами устанавливается в зависимости от глубины оврага, размеров его в плане и крутизны склонов, но не реже чем через 10-15м.

**3.4.9.** Устройство грунтовых подушек предусматривается в случаях, когда поверхностное уплотнение насыпных грунтов тяжелыми трамбовками не может быть осуществлено или не обеспечивает получение необходимой толщины уплотненного слоя. Размеры подушек устанавливаются расчетом, исходя из условия уменьшения нагрузки на подстилающий грунт до допустимой величины, по условию  $P \leq R_0$  и исключения деформаций подушки под воздействием горизонтальных усилий,

где  $P$  – нагрузка от веса сооружения и подушки

$R_0$  – расчетное сопротивление подстилающего подушки грунта.

**3.4.10.** Грунтовые подушки устраиваются путем послойной отсыпки глинистых, песчаных и других видов грунта с последующим их уплотнением укаткой или трамбованием, при оптимальной влажности. При отсутствии грунтовых вод или при их низком уровне, подушки рекомендуется предусматривать из местных суглинков или химически стойких шлаков, формовочной земли и т.п. (за исключением отходов производств, содержащих крупные включения), а при наличии грунтовых вод – только из дренирующих материалов, хорошо фильтрующих воду (крупный песок, химически стойкие шлаки и др.).

**3.4.11.** Плотность подушек назначается в зависимости от вида используемых для отсыпки грунтов и отходов производств, но не менее 0.95 максимальной плотности, получаемой путем опытного уплотнения грунтов при оптимальной влажности в полевых или лабораторных условиях.

Плотность грунтов в теле подушек оценивается по плотности скелета грунта и является достаточной:

- для песков мелких, супесей и суглинков  $\rho_d \geq 1.6 \text{ г/см}^3$

- для песков крупных и средней крупности  $\rho_d \geq 1.65 \text{ г/см}^3$
- для шлаков  $\rho_d \geq 1.5 - 1.7 \text{ г/см}^3$  (в зависимости от их вида).

**3.4.12.** Для предварительных расчетов допускается принимать следующие значения модулей деформации грунтовых подушек

(таблица 3.4.1)

Вид насыпных грунтов	Модули деформации, МПа при степени влажности $S_2$	
	$\leq 0.5$	$\geq 0.8$
Крупнообломочные, щебенистые (гравелистые)	40.0	
Пески крупные, средней крупности	30.0	
Пески мелкие, хвосты обогатительных фабрик	20.0	15.0
Пески пылеватые, супеси, суглинки, глины, зоошлаки	15.0	10.0

**3.4.13.** В проекте по возведению грунтовых подушек должны быть указаны:

- толщина отсыпаемых грунтов, в зависимости от вида уплотняющих механизмов (тяжелые трамбовки, катки, движущийся груженный транспорт: скрепера, трактора, самосвалы, а также вибротрамбовки для песчаных грунтов);
- оптимальная влажность;
- количество ударов трамбовки или проходов катками, груженым транспортом и т.п.

Уплотнение и контроль качества выполненных работ должны производиться в соответствии с требованиями главы КМК3.02.01-97. П.10.13 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» и с учетом требований п.п.1.4.3 п.1.5 (раздел 1) настоящих «Рекомендаций...».

**3.4.14.** Глубинное уплотнение насыпных грунтов грунтовыми сваями, должно предусматриваться на всю толщину их слоя независимо от размера сжимаемой толщи основания, при этом следует руководствоваться требованиями по глубинному уплотнению просадочных грунтов в основании зданий и сооружений (п.1.4.7 раздел 1 настоящих «Рекомендаций...»).

Глубинное уплотнение маловлажных насыпных грунтов в пределах необходимой по расчету глубины рекомендуется предусматривать при толщине слоя более 4м (ниже отметки заложения фундаментов) и при содержании в них органических включений не более 10% со степенью влажности  $S_2 \leq 0.7$ .

Для глубинного уплотнения применяются станки ударно-канатного бурения с весом снаряда для пробивки скважин не менее 3т. Полученные скважины засыпаются местными суглинками оптимальной влажности с послойным уплотнением в скважинах тем же станком или вибрационными и виброударными установками, энергией взрывов и т.д.

Толщина буферного слоя  $h_b$  определяется по формуле

$$h_b = k_b d \quad (3.4.2)$$

где,  $k_b$  – коэффициент принимаемый равным для крупнообломочных, щебенистых (гравелистых) грунтов  $k_b=2$ ; песков и шлаков  $k_b=3$ , супесей  $k_b=4$ ; суглинков  $k_b=5$ ; глин  $k_b=6$

$d$  – диаметр грунтовой сваи (скважины) м.

Глубинное уплотнение водонасыщенных насыпных грунтов с содержанием растительных остатков не более 10% производится песчаными сваями, руководствуясь соответствующими нормативными документами.

**3.4.15. Выбор метода инженерной подготовки оснований** на насыпных грунтах производится на основе результатов инженерно-геологических исследований насыпных грунтов с учетом условий совместной работы проектируемых конструкций зданий и сооружений с грунтом основания.

Основными данными, определяющими выбор метода подготовки оснований являются:

- давность и способ отсыпки;
- вид и состав насыпного грунта и его сжимаемость по данным полевых исследований;
- толщина слоя насыпных грунтов и ее изменения в пределах контура проектируемых зданий и сооружений, содержания в насыпных грунтах растительных остатков, а так же крупных недеформируемых включений;
- физико-механические свойства насыпных и подстилающих их естественных грунтов;
- чувствительность конструкций зданий и сооружений к неравномерным осадкам.

**3.4.16.** Насыпные грунты используются в качестве естественного основания фундаментов зданий и сооружений с применением только конструктивных мероприятий (без инженерной подготовки основания), если изменчивость грунтов основания по сжимаемости  $E_{max}/E_{min}$  не превышает ниже приведенных значений:

$$\text{при } E_{cp}=7.5\text{МПа} \quad 1.2 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 1.5$$

$$E_{cp}=1.5\text{МПа} \quad 1.4 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 2$$

$$E_{cp}=30.0\text{МПа} \quad 1.6 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 3$$

При отношениях  $E_{max}/E_{min}$  менее нижних значений, конструктивные мероприятия не предусматриваются и строительство осуществляется как на аналогичных грунтах естественного сложения,

где  $E$  – модуль общей деформации грунтов, полученный по данным полевых исследований (испытание грунтов штампами).

**3.4.17.** Однородные по составу, но неоднородные по сжимаемости (т.е. при отношениях  $\frac{E_{max}}{E_{min}}$  выше указанных значений, указанных в п 3.4.16)

отвалы и свалки песчаных грунтов, шлаков, форморовочной земли, хвостов

обогажительных фабрик могут быть использованы в качестве оснований фундаментов только при условии предварительного уплотнения их тяжелыми трамбовками или замены части грунта с устройством грунтовой, шлаковой или песчаной подушки или глубинного их уплотнения (т.е. инженерной подготовки основания) с соблюдением требований необходимых конструктивных мероприятий.

Использование таких насыпных грунтов без инженерной подготовки основания допускается только для временных сооружений.

**3.4.18.** При толщине несслежавшихся, неравномерно сжимаемых отвалов грунтов и отходов производств более 5м подготовку оснований фундаментов рекомендуется производить глубинным уплотнением грунтов или песчаными сваями на всю толщину насыпного грунта, либо устраивать свайные фундаменты, прорезающие насыпной грунт.

**3.4.19.** Свалки грунтов, содержащие растительных остатков до 10% могут быть использованы в качестве основания фундаментов зданий и сооружений при условии осуществления конструктивных мероприятий и инженерной подготовки основания вышеуказанными методами и обеспечивающими достижения отношения модулей общей деформации грунтов в пределах указанных в п.3.4.16.

Использование насыпных грунтов, с содержанием растительных остатков более 10%, а также в случае их гнездообразного или линзообразного залегания, в качестве основания, решается на основании техно-экономического расчета возможных вариантов: инженерной подготовки оснований и применением фундаментов в виде перекрестных лент или сплошных плит, свайных фундаментов и т.п.

### **Глубина заложения фундаментов**

**3.4.20.** Глубина заложения фундаментов в насыпных глинистых и песчаных грунтах назначается исходя из гидрогеологических условий строительной площадки и возможных их изменений в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения, глубины сезонного промерзания грунтов и др., руководствуясь требованиями главы 2 КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» (п.2.25-2.33).

**3.4.21.** Глубина заложения фундаментов в насыпных грунтах, отвалах и свалках, состоящих из отходов производств:

- при залегании уровня грунтовых вод более 2м от отметки заложения фундаментов назначается независимо от расчетной глубины промерзания грунтов основания и исходя из конструктивных требований;

- при залегании уровня грунтовых вод 2м и менее, назначается ниже расчетной глубины промерзания грунтов основания.

В насыпных грунтах из отходов обогажительных фабрик, глубина заложения фундаментов принимается не менее расчетной глубины промерзания грунтов.

## Расчет оснований

**3.4.22.** Основания, сложенные насыпными грунтами, должны рассчитываться в соответствии с требованиями раздела 2 КМК 2.02.01-98. Если насыпные грунты являются просадочными, набухающими или имеют относительное содержание органического вещества  $J_{от} > 0.1$  (более 10%), следует учитывать требования разделов 3, 4, 8 КМК. Полная деформация основания должна определяться суммированием осадок основания от внешней нагрузки и дополнительных осадок от самоуплотнения насыпных грунтов и разложения органических включений, а также осадок (просадок) подстилающих грунтов от веса насыпи и нагрузок от фундамента.

**3.4.23.** Расчет оснований производится по второму предельному состоянию (по деформациям), при этом основание должно удовлетворять условию

$$S \leq S_u \quad (3.4.2)$$

где  $S$  – совместная деформация основания и сооружения, определяемая расчетом в соответствии с указаниями обязательного приложения 2 КМК 2.02.01-98 по формуле 7, в которой значение безразмерного коэффициента  $\beta$  принимается равным: для грунтов естественного сложения (под насыпью) всех видов, а также грунтов в теле грунтовых подушек  $\beta = 0.8$ ; для слежавшихся насыпных грунтов  $\beta = 1$  и неслажавшихся насыпных грунтов  $\beta = 1.2$

$S_u$  – предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое в соответствии с указаниями п. 2.51-2.55 КМК 2.02.01-98 приложение 4.

**3.4.24.** При содержании в насыпных грунтах органических веществ от 0.03 до 0.10 (3-10%) дополнительная осадка насыпных грунтов и отходов производства за счет полного разложения органических веществ определяется по формуле:

$$S_{om} = k_{om} J_{om} \rho_d h / \rho_s \quad (3.4.3)$$

где  $k_{om}$  – коэффициент, учитывающий возможность расположения органических включений в насыпных грунтах, принимаемый равным 0.4

$J_{om}$  – относительное содержание по массе органического вещества.

$\rho_d$  – плотность сухого (скелета) грунта,  $г/см^3$ ;  $т/м^3$

$\rho_s$  – плотность частиц грунта,  $г/см^3$ ;  $т/м^3$

$h$  – толщина насыпных грунтов, содержащего органические включения, ниже подошвы фундамента, м.

**3.4.25.** Расчетное сопротивление основания, сложенного насыпными грунтами определяется исходя из условия, чтобы расчетные средние осадки оснований фундаментов не превышали допустимых для них величин, в соответствии с требованиями п.п. 2.41-2.48 и рассчитывается по формуле 7 КМК 2.02.01-98. Значения коэффициентов  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  принимаются для планомерно

возведенных насыпей по табл.3 КМК; для отвалов  $\gamma_{c1} = 0.8$  и  $\gamma_{c2} = 0.9$ ;

свалок  $\gamma_{c1} = 0.6$ ;  $\gamma_{c2} = 0.7$ .

Предварительные размеры фундаментов зданий и сооружений допускается назначать исходя из значения расчетных сопротивлений грунтов основания  $R_0$  по таблице 3.4.2.

Таблица 3.4.2

### Расчетное сопротивление $R_0$ насыпных грунтов

Характеристика насыпи	$R_0$ , КПа			
	Пески крупные, средней крупности и мелкие, шлаки и т.п. при степени влажности, $S_2$		Пески пылеватые, супеси, суглинки, глины, золы и т.п. при степени влажности, $S_f$	
	$S_f \leq 0.5$	$S_f \geq 0.8$	$S_f \leq 0.5$	$S_f \geq 0.8$
Насыпи планомерно возведенные с уплотнением	250	200	180	150
Отвалы грунтов и отходов производств: с уплотнением без уплотнения	250	200	180	150
	180	150	120	100
Свалки грунтов и отходов производств: с уплотнением без уплотнения	150	120	120	100
	120	100	100	80
<b>Примечания:</b>				
1. Значения $R_0$ относятся к насыпным грунтам с содержанием органических веществ $J_{om} \leq 0,1 (\leq 10\%)$ .				
2. Для несслежавшихся отвалов и свалок грунтов и отходов производств значения $R_0$ принимается с коэффициентом 0.8.				
3. Значениями $R_0$ допускается пользоваться для назначения окончательных размеров фундаментов зданий и сооружений III класса.				

**3.4.26.** Давление у края и под углом вне центрально загруженного фундамента ограничивается исходя из величины расчетного сопротивления  $R_0$  определяемое по формуле 7 КМК2.02.01-98 для планомерно возведенных насыпей для отвалов и свалок с умножением расчетных значений  $R_0$  по формуле 7 на коэффициент 0.9.

### Конструктивные мероприятия

**3.4.27.** Конструктивные мероприятия при строительстве зданий сооружений на насыпных грунтах и отходов производств применяются в тех случаях, когда осадки фундаментов как по абсолютной величине, так и степени

их неравномерности превышают предельно допустимые значения по п.2.55 и приложению 4 КМК2.02.01-98. Строительство на планомерно возведенных насыпях осуществляется как на обычных грунтах естественного сложения и специальные конструктивные мероприятия, связанные с насыпным происхождением основания, не требуются.

При использовании насыпных грунтов отвалов и свалок – в качестве основания зданий и сооружений следует предусматривать применение комплекса мероприятий, направленных на обеспечение нормальной эксплуатации этих зданий и сооружений при возможных неравномерных деформациях оснований.

По своему техническому содержанию конструктивные мероприятия подобны мероприятиям, применяемым при строительстве на просадочных грунтах: выбор соответствующей схемы конструкции зданий или сооружений, малочувствительных к неравномерным осадкам, устройство поясов, осадочных швов и т.п.

Конструктивные мероприятия назначаются в соответствии с требованиями раздела КМК2.02.01-98, с учетом дополнительных требований, изложенных ниже в п.п.3.4.28 – 3.4.35.

Выбор вида конструктивных мероприятий или их сочетаний производится в зависимости от изменчивости модулей деформации насыпных грунтов, залегающих в основании (п.3.4.16) и конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений.

**3.4.28.** Бескаркасные крупнопанельные многоэтажные жилые и общественные здания с жесткой схемой конструкций допускается строить на отвалах и свалках, не удовлетворяющих требованиям к планомерно возведенным насыпям лишь в случае, если последние имеют однородный состав и толщину слоя не более 5м, а также при условии обеспечения равномерной их осадки за счет инженерной подготовки основания одним из способов, перечисленных в п.3.4.5. Уплотнение грунтов должно производиться в пределах всей сжимаемой толщи основания.

**3.4.29.** Бескаркасные здания крупноблочные, кирпичные и из мелких камней могут строиться на отвалах и свалках с толщиной слоя более 5м только при условии инженерной подготовки основания одним из способов, указанных в п.3.4.5, и при осуществлении конструктивных мероприятий с учетом требований п.3.4.16.

При этом следует иметь в виду, что более надежными конструкциями таких бескаркасных зданий, строящихся на насыпных грунтах, являются здания с продольными или поперечными несущими стенами.

Многоэтажные жилые и общественные здания с конструктивной схемой, предусматривающей внутренний ряд колонн на отдельно стоящих фундаментах, для строительства на насыпных грунтах не допускаются.

**3.4.30.** Здания и сооружения с несущими и самонесущими стенами из камня малой прочности (проектной марки 50 и ниже), возводимые на отвалах и свалках, должны иметь высоту не более двух этажей.

**3.4.31.** Применение облегченных каменных кладок для несущих и самонесущих стен зданий и сооружений, строящихся на однородных по составу отвалах, допускается только при условии специального обоснования, а строительство зданий и сооружений (кроме временного назначения) на свалках не допускается.

**3.4.32.** Расположение осадочных швов принимается в зависимости от мест сопряжения напластований отдельных разновидностей грунтов в основании и конструкций возводимых зданий и сооружений.

Швы следует располагать в местах резкого изменения толщины слоя насыпных грунтов, их состава и сложения. При одинаковой толщине слоя насыпных грунтов осадочные швы располагаются так же, как и при строительстве на обычных грунтах естественного сложения – в местах значительного изменения высоты зданий и сооружений и передаваемых нагрузок на основание. Во всех случаях осадочные швы целесообразно располагать у поперечных стен.

Конструкция осадочных швов должна обеспечивать возможность горизонтальных и вертикальных смещений отдельных отсеков здания или сооружения. Забор между отдельными отсеками рекомендуется принимать не менее 3см по всей высоте шва. Ширина осадочных швов принимается равной 2-4см.

**3.4.33.** Фундаменты зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах, допускаются ленточные, отдельно стоящие (в том числе и свайные) или в виде перекрестных лент или сплошных плит.

При строительстве на планомерно возведенных насыпях конструкции фундаментов принимаются практически такими же, как и при строительстве на обычных грунтах естественного сложения.

При строительстве на отвалах и свалках с инженерной подготовкой основания (согласно п.п.3.4.5-3.4.7) отдельно стоящие фундаменты целесообразно применять для каркасных зданий и сооружений, а для бескаркасных зданий – ленточные монолитные или сборно-монолитные (бетонные, бутобетонные, каменные с армированными поясами у подошвы и по верху фундаментов). Из сборных элементов допускается выполнять только вертикальную часть ленточных фундаментов при условии, если лента в пределах подошвы фундамента предусматривается из монолитного железобетона, а по верху фундамента устраивается армированный пояс.

В случае когда инженерная подготовка основания не может быть осуществлена, следует предусматривать фундаменты в виде перекрестных лент, сплошных железобетонных плит или свайные фундаменты со сваями, прорезающими всю толщу насыпных грунтов.

**3.4.34.** Для свайных фундаментов из забивных свай, прорезающих насыпные грунты, при определении их несущей способности расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности свай и в пределах насыпных грунтов принимается для предварительных расчетов по табл. 3.4.3. Расчетная величина нагрузки на сваи принимается по результатам статических испытаний свай.

**3.4.35.** Надземные части зданий и сооружений, возводимые на насыпных грунтах, должны проектироваться с конструктивными мероприятиями исходя из возможной неравномерности осадки выбранного типа фундаментов при принятом методе инженерной подготовки основания.

Таблица 3.4.3

**Расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности свай  $f^H$  в т/м<sup>2</sup>**

Насыпные	Значения $f^H$ в т/м <sup>2</sup> при содержании в насыпных грунтах растительных остатков в % (по весу)		
	до 10	более 10	более 20
1. Планомерно возведенные насыпи	По табл.2 КМК2.02.02-98	0.5 от значений $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98	
2. Отвалы слежавшиеся	То же	То же	Не учитывается
3. Свалки слежавшиеся	0.5 от значений $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98	Не учитывается	То же
4. Отвалы и свалки несслежавшиеся	Учитывается негативное трение, равное 0.7 $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98		-

## **РАЗДЕЛ 4. ОБРАТНЫЕ ЗАСЫПКИ**

### **4.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАСЫПОК**

#### **Общие положения**

**4.1.1.** Обратные засыпки представляют собой разновидность насыпных грунтов, которые планомерно укладываются и уплотняются до заданной по проекту плотности. Они предназначены для заполнения котлованов, пазух и траншей или для использования в качестве оснований под фундаменты технологического оборудования, полы и другие конструкции. К обратным засыпкам относятся также насыпные грунты, покрывающие различные подземные сооружения.

**4.1.2.** Проектировать обратные засыпки необходимо на основе материалов инженерно-геологических исследований строительной площадки, руководствуясь КМК1.01.01-97 «Инженерные изыскания для строительства», а также КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» и раздела 4 настоящих «Рекомендаций...».

**4.1.3.** Настоящие «Рекомендации...» распространяются на устройство обратных засыпок из песков, супесей, суглинков и глин.

Грунт, предназначенный для обратных засыпок не должен содержать:  
- строительного мусора (отходов строительного производства);

- органических включений более 5% по массе;
- водорастворимых солей более 0,3% по массе;
- мерзлых комьев более 15% общего объема засыпки размером до 30см, при засыпке пазух снаружи зданий. Включение в состав грунта, отсыпаемого под полы внутри зданий, мерзлых комьев не допускается.

При наличии в основании обратных засыпок просадочных грунтов II-го типа выполнять обратные засыпки из песчаных, группнообломочных грунтов и других дренирующих материалов не допустимо.

**4.1.4.** Проект выполнения обратных засыпок должен содержать основные характеристики физико-механических свойств грунтов, а так же требования к производству работ по уплотнению грунтов.

**4.1.5.** Деформируемость обратных засыпок зависит от плотности, влажности, способа и давности укладки, вида грунта, а также от величины воспринимаемого ими давления от фундаментов и ограждающих конструкций.

**4.1.6.** Требуемая плотность грунта, выражаемая плотностью скелета грунта или коэффициентом уплотнения, назначается проектом на основании исследований грунта методом стандартного уплотнения, при котором определяются его максимальная плотность и оптимальная влажность при уплотнении.

**4.1.7.** При установке фундаментов на основания из обратных засыпок организуются геодезические наблюдения за их осадками.

**4.1.8.** Грунты обратных засыпок должны именоваться в проектах по номенклатуре РСТ Уз-25100-95 (ГОСТ 25100-95) с дополнительным указанием:

- а) однородности и вида грунта;
- б) способа отсыпки (автомобильным или железнодорожным транспортом, подачей транспортерами, скреперами, бульдозерами и т.п. с одновременным или последующим уплотнением механизмами).

Обратные засыпки, в которых преобладают крупные включения различных материалов, именуются по виду этих включений с указанием материала, заполняющего промежутки между ними.

### **Факторы, влияющие на осадку грунтов обратных засыпок**

**4.1.9.** Основными факторами, влияющими на осадку обратных засыпок после их уплотнения, являются:

- а) способ отсыпки и применяемые грунтоуплотняющие механизмы;
- б) вид и состав грунтов, используемых для обратной засыпки, а также их физико-механические свойства;
- в) общая мощность укладываемых обратных засыпок и её изменение в пределах участка расположения отдельных фундаментов и других конструкций;
- г) физико-механические свойства грунтов обратных засыпок и подстилающих их грунтов природного сложения;
- д) жесткость конструкций зданий, сооружений и технологического оборудования и их способность воспринимать неравномерные осадки основания.

**4.1.10.** Возможность использования обратных засыпок в качестве оснований под фундаменты и полы промышленных зданий и сооружений должна определяться малой изменчивостью их сжимаемости в плане и по глубине. Исходя из этого, в зависимости от видов грунтов, используемых для обратных засыпок и их функционального назначения, должны быть применены соответствующие механизмы и способы уплотнения.

**4.1.11.** В производственных помещениях с мокрыми технологическими процессами недопустимы утечки воды из водных коммуникаций, так как это может привести не только к значительным дополнительным осадкам, но и к просадкам грунтов обратных засыпок. В связи с этим при проектировании необходимо предусматривать соответствующие водозащитные мероприятия.

**4.1.12.** После уплотнения механизмами, обратные засыпки в последующем дополнительно самоуплотняются под действием силы тяжести. Это самоуплотнение будет тем меньшим, чем качественнее произведено уплотнение грунтов. Исходя из этого по давности отсыпки грунты можно подразделить на:

а) слежавшиеся, в которых процесс самоуплотнения от собственного веса закончился;

б) неслежавшиеся, в которых процесс самоуплотнения продолжается.

Расчет осадок фундаментов должен учитывать возможную их дополнительную осадку за счет самоуплотнения оснований от собственного веса.

Ориентировочные данные об осадке насыпных грунтов от собственного веса в процентах к начальной их толщине приведены в табл. 4.1.1.

Таблица 4.1.1

Вид грунтов	Процент осадки по отношению к первоначальной толщине
Хорошо уплотненные крупнозернистые пески и обломочные материалы	до I
Менее уплотненные крепкозернистые пески и обломочные материалы	до 1,5
Неуплотненные крупнозернистые и среднезернистые пески	2,5-3
Хорошо уплотненные супеси и суглинки	1,0-1,5
Среднеуплотненные глинистые грунты	2-2,5
Неуплотненные глинистые грунты	10-12

**4.1.13.** Учет влияния доуплотнения обратных засыпок от собственного веса при определении осадок фундаментов следует производить по методам расчетов деформаций грунтов во времени, изложенных в соответствующих главах КМК 2.02.01-98.

#### **Определение пригодности грунта для обратных засыпок**

**4.1.14.** Выбор вида грунта и степень его уплотнения зависит от функционального назначения обратной засыпки.

**4.1.15.** Уплотняемость песчаных грунтов значительно выше глинистых, поэтому при устройстве обратных засыпок следует отдавать предпочтение крупнообломочным, гравелистым и песчаным грунтам. При этом следует иметь в виду, что устройство песчаных, гравелистых и т.п., обратных засыпок на подстилающих просадочных грунтах II-го типа по просадочности, не допустимо.

**4.1.16.** Суглинистые грунты труднее поддаются уплотнению (по сравнению с песчаными), но после уплотнения обладают высокой связностью и водонепроницаемостью.

**4.1.17.** Глины плохо поддаются уплотнению, поэтому необходимо при производстве работ обращать особое внимание на тщательность их уплотнения и соотношение фактической и оптимальной влажности.

**4.1.18.** Применение для обратных засыпок пылеватых грунтов допускается в том случае, если они не перенасыщены влагой, от которой теряют устойчивость, а при промерзании склонны к пучению.

**4.1.19.** Песчаные и глинистые грунты с повышенным содержанием органических веществ (более 3-5%) и водорастворимых солей (более 0.3%) для устройства обратных засыпок, не допускаются.

Степень засоленности грунтов следует оценивать по данным, приведенным в табл. 4.1.2.

Таблица 4.1.2

## Показатели засоленности грунтов

Степень засоленности грунта	Среднее суммарное содержание водорастворимых солей в грунте, в % по весу	
	Хлоридное и сульфато- хлоридное засоление	Сульфатное и хлорид- носльфатное засоление
1	2	3
Слабозасоленные	0,3-1	0,3-0,5
Среднезасоленные	1-5	0,5-2
Сильнозасоленные	5-8	2-5
Избыточнозасоленные	> 8,0	> 5,0

1. Приблизительно можно считать, что процесс самоуплотнения заканчивается в первые два года для песчаных грунтов и в 5-7 лет для глинистых грунтов.

## Требования к плотности грунтов

**4.1.20.** При уплотнении обратных засылок из глинистых и песчаных грунтов, в зависимости от требуемой плотности, руководствуются величиной коэффициента уплотнения, который представляет собой отношение проектной плотности грунта к его максимальной плотности, полученной в приборе стандартного уплотнения по РСТУз 786-97

$$K_{уп} = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}}, \quad (4.1.1)$$

где  $\rho_d$  - плотность скелета грунта в засыпке, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{dmax}$  максимальная плотность скелета грунта, определяется методом стандартного уплотнения, г/см<sup>3</sup>.

Из формулы (4.1.1) следует, что проектная плотность обратной засыпки должна быть равна

$$\rho_d^{пр} = \rho_{dmax} \times K_{уп} \quad (4.1.2)$$

Ориентировочные значения максимальной плотности и соответствующие ей оптимальные влажности приведены в табл. 4.1.3.

Таблица 4.1.3

Грунт	Пределы колебаний	
	Оптимальной влажности, %	Максимальной плотности скелета, г/см <sup>3</sup>
Песчаный	8-12	1,75-1,95
Супесчаный	9-15	1,65-1,85
Пылеватый	14-23	1,60-1,82
Суглинистый	12-18	1,65-1,85
Суглинистый тяжелый	15-22	1,60-1,80
Суглинистый пылеватый	17-23	1,58-1,78
Глинистый	18-25	1,55-1,75

Ориентировочные значения коэффициента уплотнения  $K_{уп}$  для различных сооружений приведены в табл. 4.1.4.

Таблица 4.1.4

Виды земляных сооружений	Коэффициент стандартного уплотнения - $K_{уп}$
Основания под фундаменты	0,98
Засыпки под полы	0,98
Пазухи фундаментов	0,95
Засыпки траншей	0,95
Места сопряжений земляного полотна подъездных дорог с искусственными сооружениями	0,96
Пазухи опор электропередач, телефонной связи и др.	0,94

Рекомендуемые значения степени уплотнения грунтов в обратных засыпках котлованов приведены в таблице 4.1.5

Таблица 4.1.5

Назначение обратной засыпки	Необходимая степень уплотнения	Допускаемое отклонение влажности от оптимальной
Основания фундаментов конструкций, тяжелого технологического оборудования, полов с нагрузкой более 0,15 МПа	$\frac{0,95 \dots 0,97}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,02 \dots 0,01)$
То же, среднего оборудования, внутренних конструкций зданий, полов с нагрузкой 0,05...0,15 МПа	$\frac{0,92 \dots 0,95}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,04 \dots 0,02)$
То же, легкого оборудования, полов с нагрузкой менее 0,05 МПа, отмостки у зданий	$\frac{0,9 \dots 0,92}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,05 \dots 0,04)$
Не застраиваемые участки	$\frac{0,88 \dots 0,9}{1,5 \dots 1,55}$	$\pm(0,07 \dots 0,05)$

Примечание: В числителе приведены значения коэффициента уплотнения  $K_{упл}$ , в знаменателе плотность скелета грунта,  $г/см^3$ .

Значения  $K_{упл}$  в зависимости от нагрузки на поверхность уплотненного грунта приводятся в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6

Вид	Значения коэффициента уплотнения $K$ при нагрузке на поверхность
-----	--

грунта	уплотненного грунта $P$ , КПа											
	P=0				P=50-200				P>200			
	При общей толщине отсыпки, м											
	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6
Глинистый	0.92	0.93	0.94	0.95	0.94	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.98
Песчаный	0.91	0.92	0.93	0.94	0.93	0.94	0.95	0.96	0.94	0.95	0.96	0.97

**4.1.21.** Допускается отклонение фактической (достигнутой) плотности скелета грунта от проектной не более чем на  $0.06 \text{ г/см}^3$  в 20% отобранных проб. При несоблюдении указанного требования надлежит уточнить технологию уплотнения грунта и типы грунтоуплотняющих машин и механизмов.

**4.1.22.** Допускаемое отклонение влажности грунта  $W_{\text{опт}}$ , от оптимальной в зависимости от вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения  $K_{\text{упл}}$  следует принимать по данным табл. 4.1.7.

Таблица 4.1.7

Коэффициент уплотнения	Допускаемое отклонение влажности грунта ( $\pm$ ) от оптимальной $W_{\text{опт}}$ , %	
	глинистого	песчаного
0.98 - 0.97	3	6
0.96 – 0.95	4	8
0.94 – 0.92	5	10
0.91	7	14

**4.1.23.** При отклонении влажности глинистого грунта от оптимальной до  $\pm 3\%$ , число проходов (ударов) уплотняющих машин и механизмов или время уплотнения одного следа должны быть увеличены в два раза, а при отклонении  $\pm 7\%$  - в три раза.

**4.1.24.** При отклонении влажности песчаного грунта от оптимальной до  $\pm 6\%$ , число проходов (ударов) уплотняющих машин и механизмов или время уплотнения одного следа должны быть увеличены в два раза, а при отклонении до  $\pm 14\%$  - в три раза.

**4.1.25.** В случаях, когда грунтовые основания под полы подвержены изменению температурно-влажностного режима, связанного с периодическим промерзанием и оттаиванием грунта, а также с его замачиванием, коэффициент уплотнения следует принимать  $K \geq 0.93$ .

**4.1.26.** Максимальная плотность  $\rho_{d\text{max}}$  и соответствующая ей оптимальная влажность  $W_{\text{опт}}$  для данного вида грунта определяются методом

стандартного уплотнения на приборе стандартного уплотнения по РСТ Уз 786-97.

Для предварительных расчетов максимальную стандартную плотность ориентировочно можно определить по формуле

$$\rho_{dmax} = \frac{\rho_s (1 - 0,01V)}{1 + \rho_s \times 0,01W_{opt}}$$

Где  $\rho_s$  – плотность минеральных частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$W_{opt}$  - оптимальная влажность, %;

$V$  – объем воздуха в грунте при оптимальной влажности, принимаемый в %, для супеси – 8-10, суглинка – 4-5; тяжелого суглинка – 3-4; глины – 4-6.

**4.1.27.** Определение максимальной стандартной плотности грунтов, содержащих частицы крупнее 5мм до 40% по весу, осуществляется методом стандартного уплотнения отсеянного (с частицами менее 5мм) грунта. Для учета влияния на свойства грунта включений частиц крупнее 5мм вводятся поправочные коэффициенты, ориентировочные значения которых для пород с плотностью частиц более 2,6-2,7 приведены в табл. 4.1.8.

Таблица 4.1.8

#### Поправочные коэффициенты на величину включений

Содержание в грунте частиц крупнее 5мм, в %	Поправочные коэффициенты	
	К максимальной стандартной плотности	К оптимальной влажности
5	1,02	0,95
10	1,04	0,90
15	1,06	0,85
20	1,08	0,80
25	1,10	0,75
30	1,13	0,70
40	1,15	0,65

**4.1.28.** Плотность грунта в обратных засыпках, являющихся основанием для фундаментов под оборудование, внутренние несущие стены, а так же под полы с нагрузкой на них более  $8 \text{ т/м}^2$ , должна быть не менее  $1,60 \text{ г/см}^3$  для суглинков,  $1,65 \text{ г/см}^3$  для супесей и  $1,70 \text{ г/см}^3$  для песков. Плотность грунта в обратных засыпках, являющихся основанием фундаментов легкого оборудования и подготовкой под полы с нагрузкой менее  $8 \text{ т/м}^2$ , допускается снижать до  $1,55 \text{ г/см}^3$  для суглинков,  $1,60 \text{ г/см}^3$  для супесей и  $1,65 \text{ г/см}^3$  для песков. Плотность обратных засыпок, не несущих нагрузки, принимается не ниже  $1,50 \text{ г/см}^3$ .

**4.1.29.** Наибольший эффект уплотнения достигается при оптимальной влажности грунта, значение которой для глинистых грунтов зависит от применяемого метода уплотнения, вида машин и механизмов. Величина её в каждом конкретном случае должна уточняться при опытном уплотнении.

Ориентировочная величина оптимальной влажности может быть определена по влажности на границе текучести  $W_T$  или влажности на границе раскатывания  $W_p$ :

$$\begin{aligned} W_{opt} &= \alpha W_m, \% \\ W_{opt} &= W_p - \alpha, \% \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

где  $\alpha$  – переходной коэффициент, ориентировочно принимаемый для супеси 0,7, для суглинков 0,55 и для глины 0,5;

$\alpha$  - поправка, равная для суглинка – I, для глины – 2.

Отклонение фактической влажности от оптимальной не должно превышать  $\pm 1.0\%$  для связных грунтов и  $\pm 2.0\%$  для несвязных грунтов.

**4.1.30.** При влажности грунта ниже оптимальной на 3% и более его необходимо доувлажнять. Потребное количество воды (А) на  $1 \text{ м}^3$  грунта для получения оптимальной влажности определяется по формуле

$$A = 0,01 (W_{opt} - W) \times \rho_d, \quad (4.1.5)$$

Где  $W_{opt}$  – значение оптимальной влажности для данного грунта, %;

$W$  – фактическая влажность грунта, который нужно доувлажнять, %;

$\rho_d$  – величина плотности скелета грунта, которую необходимо получить в результате уплотнения,  $\text{т/м}^3$ .

Доувлажнение грунта необходимо производить в резерве или в карьере. Возможное уменьшение влажности грунта за счет испарения до его укладки в обратную засыпку необходимо учитывать при вычислении потребного количества воды путем принятия значения  $W_{opt}$  на 2-3% выше расчетного.

При избыточной влажности грунта следует производить его подсушивание.

**4.1.31.** Степень уплотнения грунта обратных засыпок можно также оценивать коэффициентом уплотнения

$$K = \frac{\rho_d^\Phi}{\rho_d^{np}}, \quad (4.1.6)$$

где  $\rho_d^\Phi$  - фактическая плотность грунта после уплотнения,  $\text{г/см}^3$ ;

$\rho_d^{pp}$  - заданная (проектная) плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

При качественном уплотнении грунта обратной засыпки коэффициент  $K$  равен или близок к 1.

### Выбор допускаемых давлений на обратные засыпки

**4.1.32.** При определении нормативных и расчетных нагрузок на обратные засыпки, являющиеся основанием фундаментов, следует руководствоваться положениями глав КМК 2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений».

**4.1.33.** Для расчета осадок оснований, сложенных грунтами обратных засыпок, необходимо установить изменчивость их сжимаемости от нагрузки в пределах проектируемого здания или сооружения, которая оценивается величиной  $\alpha$ , равной отношению максимального модуля деформации  $E_{max}$  к величине минимального модуля деформации  $E_{min}$ .

$$\alpha = \frac{E_{max}}{E_{min}}. \quad (4.1.7)$$

**4.1.34.** Сжимаемость обратной засыпки устанавливается испытанием грунта штампом в соответствии с ГОСТ20276-85 «Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости» по результату которого вычисляется модуль деформации грунта. Должно быть проведено в контуре здания или сооружения не менее 3 штамповых испытаний до возведения фундаментов или устройства полов. Если изменчивость сжимаемости грунта превышает нормативную величину, необходимо произвести доуплотнение грунта.

**4.1.35.** Грунты обратных засыпок могут использоваться в качестве оснований под фундаменты и полы, если изменчивость их по сжимаемости не превышает величины:

при $E_{cp}=7,5$ МПа	$1,2 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 1,5$
$E_{cp}=15$ МПа	$1,4 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 2,0$
$E_{cp}=30$ МПа	$1,6 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 3,0$

**4.1.36.** Предварительные размеры фундаментов определяются исходя из расчетного давления на грунт ненарушенного сложения с учетом снижения его несущей способности в обратной засыпке по формуле

$$R_{0зас} = KR_0 \quad (4.1.8)$$

где  $R_0$  - расчетное давление на грунт ненарушенного сложения, принимаемое в зависимости от его плотности, пористости и консистенции по табл. 4.1.9 и 4.1.11.

$K$  - коэффициент, учитывающий влияние нарушения первичных природных структурных связей на сопротивление грунта нагрузке; принимается по графикам рис.4.1.1 в зависимости от задаваемых проектных нагрузок  $P$ , КПа на грунт обратной засыпки.

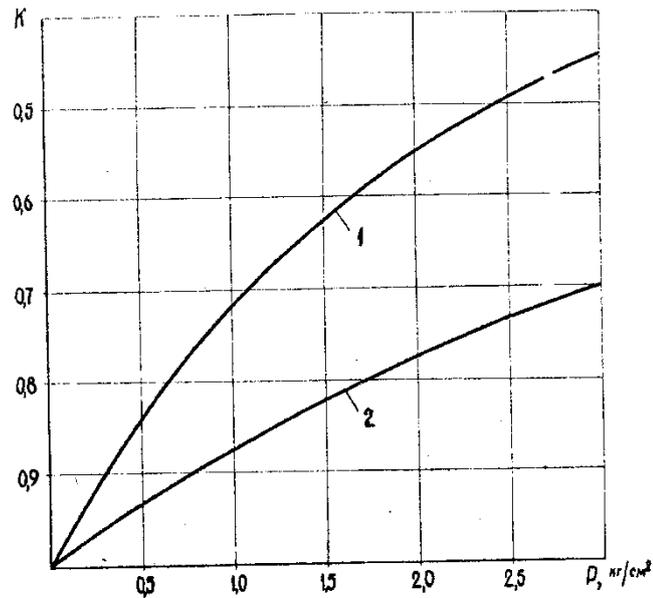


Рис. 4.1.1. График зависимости коэффициента нарушения структурных связей от удельного давления на грунт:  
1 - суглинок; 2 – песок.

### Расчетное давление на песчаные грунты в зависимости от плотности

Таблица 4.1.9

Песчаные грунты	Значения $R_0$ в КПа	
	плотные	средней плотности
1	2	3
Пески крупные независимо от влажности	450	350
Пески средней крупности независимо от влажности	350	250
Пески мелкие:		
а) маловлажные	300	200
б) очень влажные и насыщенные водой	250	150
Пески пылеватые:		
а) маловлажные	250	200
б) влажные	200	150
в) насыщенные водой		

Характеристика песчаных грунтов по плотности приведена в табл.4.1.10

Таблица 4.1.10

### Характеристика песчаных грунтов по плотности

Наименование песчаных грунтов	Плотность песчаных грунтов, г/см <sup>3</sup>		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые круп-ные и средней крупности	$\rho_d > 1,72$	$1,72 \geq \rho_d > 1,56$	$\rho_d < 1,56$
Пески мелкие	$\rho_d > 1,66$	$1,66 \geq \rho_d \geq 1,52$	$\rho_d < 1,52$
Пески пылеватые	$\rho_d > 1,66$	$1,66 \geq \rho_d \geq 1,48$	$\rho_d < 1,48$

### Расчетное давление на глинистые грунты в зависимости от пористости и консистенции

Таблица 4.1.11

Глинистые грунты	Значения $R_0$ в КПа		
	Коэф.пористости	Консистенция	
		$J_L=0$	$J_L=1$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	200
	0,7	250	180
Глины	1,0	200	100
	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

**4.1.37.** Для предварительных расчетов расчетное сопротивление  $R_0$  на уплотненные грунты можно принять по таблице 4.1.12

Таблица 4.1.12

Грунты	$R_0$ при $K_{ун}$ , КПа		
	0,92	0,95	0,97
Супеси	200	250	280
Суглинки	250	300	320
Глины	300	350	400
Крупные пески	300	400	500
Средние	250	300	400
Мелкие	200	250	300

При определении расчетного сопротивления на уплотненные грунты по деформациям основания по формуле 7, КМК2.02.01-98 значения удельного сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  для обратных засыпок, сложенных лессовыми грунтами, принимаются на стадии предварительных расчетов по табл. 4.1.13, при этом обязателен расчет основания по деформациям.

**4.1.38.** Для предварительных расчетов величин средних осадок оснований из обратных засыпок, для уплотненных грунтов, модуль общей деформации принимается по табл. 4.1.14.

**4.1.39.** При расчете бокового давления на конструкции подземных сооружений с учетом их взаимодействия с грунтом обратной засыпки в упругой стадии её деформирования, модуль боковой деформации допускается определять по модулю вертикальной деформации для этого грунта по формуле

$$E^b = mE^v \quad (4.1.8),$$

Где  $E^v$  - модуль вертикальной деформации грунта обратной засыпки; для предварительных расчетов принимается по таблице 4.1.14.

$m$  - коэффициент, учитывающий влияние изменяющихся по глубине деформативных свойств грунтового массива, ограниченного сверху горизонтальной незагруженной поверхностью; принимается по графику рис.4.1.2 на глубине приложения равнодействующей бокового давления.

Обобщенные значения прочностных характеристик уплотненных лессовых грунтов ( $I_p=0,05 \dots 0,18$ )

Таблица 4.1.13

Показатель	Коэффициент $K_{уп}$		
	0,92	0,95	0,97
Сцепление, КПа	5,5/2,5	7,5/3,5	10/4,5
Угол внутреннего трения, град	28/24	30/25	32/26

Примечание. В числителе даны значения при степени влажности грунта  $< 0,8$ .

## Обобщенные данные по сжимаемости уплотненных грунтов

Таблица 4.1.14

Вид уплотненного грунта	Нормативные значения модулей деформации уплотненного грунта, КПа			
	При влажности уплотнения, равной $W_{opt}$		В водонасыщенном состоянии	
	$K_{упл}=0.92$	$K_{упл}=0.95$	$K_{упл}=0.92$	$K_{упл}=0.95$
1	2	3	4	5
Лессовидные супеси	200	250	150	200
Лессовидные суглинки и глины	250	300	200	250
Крупные пески	300	400	-	-
Средние пески	250	300	-	-
Мелкие пески	150	200	-	-

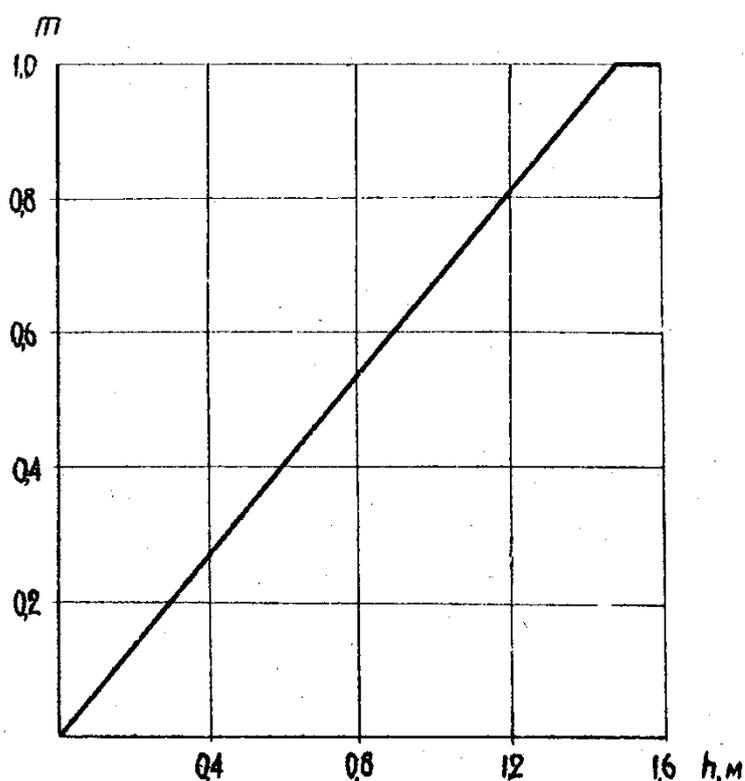


Рис. 4.1.2. График зависимости коэффициента изменения деформативных свойств грунтового массива от глубины приложения равнодействующей бокового давления

## 4.2. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

### Выбор машин и механизмов для уплотнения грунта

**4.2.1.** Комплект машин и механизмов должен обеспечить разработку грунта в резервах (карьерах), доставку его к участку работ, подачу в зону укладки, разравнивание и уплотнение.

**4.2.2.** Выбор грунтоуплотняющих машин производится по следующим основным показателям: приведенные затраты трудоемкости и производительность. Учитываются и дополнительные показатели: энергоемкость, металлоемкость, эксплуатационная надежность, универсальность механизированных средств, условия агрегирования подвесных механизмов возможность совмещения строительных операций и др.

**4.2.3.** Для уплотнения грунта в непосредственной близости от строительных конструкций предпочтение отдается машинам, уплотняющим грунт укаткой, вибротрамбованием или комбинированным воздействием (виброукатка, виброуплотнение с пригрузом) и вибрированием.

**4.2.4.** Для одного комплекта машин в ряде случаев выбирается несколько типов грунтоуплотняющих средств механизации с различными технико-эксплуатационными характеристиками.

**4.2.5.** Для уплотнения одного слоя, грунта, состоящего из полос связного и несвязного грунтов, рекомендуется выбирать комплект машин, уплотняющих оба вида грунта.

**4.2.6.** При выборе средств механизации предпочтение следует отдавать машинам, которые уплотняют грунт слоями большей толщины.

**4.2.7.** Использование сбрасываемых трамбуемых плит, подвешиваемых к стреле экскаватора, допускается при небольших объемах работ, так как машина в этом случае подвергается значительному износу.

**4.2.8.** Рекомендуется применять трамбовки тяжелого типа, поскольку эффективность их работы значительно выше, чем легких. Показатели по уплотнению пылеватных суглинков и песков средней плотности трамбовками с различными весовыми характеристиками приведены в таблицах 4.2.1; 4.2.2.

### Показатели уплотнения песков средней плотности трамбовками различных весовых характеристик

Таблица 4.2.1

Вес трамбовки (кН)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5
Число ударов при оптимальной скорости удара $V_{\text{опт}} = G$ м/сек	6	4	3	2	3
Затраченная работа (тс, м)	12	12	12	10	15
Максимальная осадка уплотняемой поверхности (см).	15.8	18.5	19.5	18.2	22.0

## Показатели уплотнения песков средней плотности трамбовками различных весовых характеристик

Таблица 4.2.2

Вес трамбовки (кН)	1.0	2.0	3.0	4.0
1	2	3	4	5
Число ударов при оптимальной скорости удара $V_{\text{опт}} = 5$ м/сек	12	6	4	3
Затраченная работа (тс.м)	15.4	15.4	15.4	15.4
Максимальная осадка уплотняемой поверхности (см)	4.7	7.7	10.2	12.4

**4.2.9.** Уплотнение обратных засыпок из связных грунтов, являющихся основанием под фундаменты, подъездные пути, полы и разгрузочные площадки, рекомендуется производить катками. Катки с гладкими вальцами применяются при уплотнении песчано-гравийных материалов при толщине отсыпаемого слоя до 0.15 м.

**4.2.10.** Уплотнение несвязных и малосвязных грунтов слоями толщиной от 0.2 до 0.45 м следует выполнять вибрационными катками весом от 1,5 до 12 т. При уплотнении таких грунтов слоями толщиной от 0,2 до 0,6 м рационально применять вибрационные самопередвигающиеся плиты весом от 140 до 2000 кг, а для связных грунтов использовать виброплиты от 4,0 до 8,0 тс или тяжелые катки весом 6-12тс.

**4.2.11.** Для уплотнения связных и несвязных грунтов слоями от 0,4 до 1,0 м следует применять трамбуемые машины ударного действия. Уплотнение таких грунтов слоями толщиной от 0,5 до 2,5 м можно производить трамбуемыми плитами весом до 4тс. При толщине уплотнения грунтов (связных и несвязных) от 0,1 до 0,3 м рекомендуются дизельные, электрические или пневматические трамбовки весом до 40 кг.

Для уплотнения связных и несвязных грунтов слоями толщиной от 0,2 до 0,5 м можно использовать гидромеханические вибротрамбовки.

**4.2.12.** Уплотнение песчаных грунтов слоями толщиной от 1 м до 10м рекомендуются производить гидровиброуплотнителями. Для песчаных грунтов, насыщенных водой, при больших объемах работ рекомендуется навесная вибрационная установка, при небольших объемах - вибробулава.

**4.2.13.** Выбор вспомогательных машин для разработки грунта в резервах, его транспортирования в зону работ, для разравнивания, увлажнения и др. производится после комплектования ведущими машинами.

**4.2.14.** Состав комплекта машин и механизмов должен обеспечивать непрерывность перемещения грунта от места разработки до укладки и уплотнения: подбор машин по производительности осуществляется из условия обеспечения непрерывной работы ведущих машин, входящих в комплект.

**4.2.15.** Выбор оптимального комплекта машин производится на основе технико-экономического анализа вариантов комплексной механизации. При этом оценка вариантов производится по показателям себестоимости, трудоем-

кости и продолжительности механизированных работ, исчисленных на весь объем или на  $1\text{ м}^3$  уплотненного грунта.

**4.2.16.** Выбор экскаватора для разработки резервов грунта (карьеров) осуществляется из расчета обеспечения принятой интенсивности работ по уплотнению грунта. Емкость ковша экскаватора принимается по данным табл. 4.2.3.

Рекомендуемая емкость ковша экскаваторов в зависимости от интенсивности переработки грунта.

Таблица 4.2.3

Интенсивность переработки грунта, тыс.м <sup>3</sup> в месяц	Емкость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>
До 20	0,5-0,65
20-60	1,0-1,25
60-100	2-0
Свыше 100	2-4

**4.2.17.** Выбор типа автосамосвала производят с таким расчетом, чтобы емкость его кузова была примерно равна пятикратной емкости ковша экскаватора, поскольку при таком соотношении достигается наиболее экономичная работа.

**4.2.18.** Количество автосамосвалов, необходимых для перевозки грунта, определяется расчетом. При этом учитывается грузоподъемность машин, производительность экскаватора, дальность перевозки и средняя скорость движения машин с грунтом и без него, потери времени на маневрирование, погрузку и ожидание погрузки.

**4.2.19.** Для подачи грунта в котлован при расположении резервов на бровках и послойного его разравнивания рекомендуется применять бульдозеры, которые выбираются в зависимости от конкретных условий их использования. В стесненных условиях используются малогабаритные бульдозеры, количество которых определяется расчетом, исходя из среднесменной производительности.

**4.2.20.** При стесненных условиях производство работ, характеризующихся наличием узких проходов и замкнутых полостей, целесообразно применять грунтоукладчик, с помощью которого грунт подается и равномерно распределяется по рабочей карте.

**4.2.21.** Типы и марки машин и механизмов для поверхностного и глубинного уплотнения грунта обратных засыпок в стесненных местах необходимо выбирать в зависимости от их наличия, при этом:

определяют виды и размеры стесненных мест, а также объемы и сроки выполнения работ по обратным засыпкам;

выбирают подходящие по габаритам грунтоуплотняющие машины и механизмы;

устанавливают возможность достижения проектной плотности скелета грунта выбранными грунтоуплотняющими машинами и механизмами путем опытного уплотнения;

оценивают влияние динамических и статических нагрузок от грунтоуплотняющих машин и механизмов на подземные конструкции;

определяют экономическую эффективность уплотнения грунта выбранными машинами и механизмами и на основе результатов сравнения нескольких вариантов принимают окончательный.

### Определение толщины уплотняемого слоя и режима работы грунтоуплотняющих машин и механизмов

**4.2.22.** Толщина уплотняемых слоев зависит от вида грунта, типа машин и механизмов, степени уплотнения. Стоимость отсыпки и уплотнения грунта, как правило, уменьшается с увеличением толщины уплотняемых слоев.

**4.2.23.** Плотность грунта по толщине уплотняемого слоя получается неравномерной и к низу уменьшается. Поэтому она должна приниматься такой, чтобы в нижней части этого слоя соответствовать проектной плотности.

**4.2.24.** Для связных и несвязных грунтов показатели толщины слоя грунта в зависимости от его вида и проектной плотности, а также от характеристик уплотняющих средств механизации определяются пробным уплотнением.

**4.2.25.** Толщину отсыпаемого слоя грунта  $h_0$  с оптимальной влажностью, в зависимости от вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения  $K_{упл}$  следует назначать по данным, приведенным в табл.4.2.4.

Таблица 4.2.4

Вид грунта	Толщина уплотняемого слоя $h_y$ , см	Толщина отсыпаемого слоя $h_0$ , см, при коэффициенте уплотнения $K_{упл}$			
		0.98-0.97	0.96-0.95	0.94-0.93	0.92-0.91
1	2	3	4	5	6
Песчаный	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	130	125	120	115
Супесь	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125
Суглинок лессовидный	40	65	60	55	50
	60	100	95	90	85
	80	130	125	120	115
	100	165	160	155	150
Суглинок	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	125	120	115	110
Глинистый	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125

**4.2.26.** Толщину уплотняемого слоя грунта для достижения его высокой плотности (с коэффициентом стандартного уплотнения  $K_{упл}=1$  и более) следует уменьшить до 0,1 м.

В таблице 4.2.5 приведена плотность грунта, достигнутая при укатке катком на пневмоколесном ходу (вес 25г) в зависимости от толщины уплотняемого слоя в долях от максимальной стандартной плотности грунта.

Таблица 4.2.5

Глубина взятия проб, м	Грунты	
	малосвязный	связный
0,5-0,10	1,01	1,0
0,20-0,25	0,99	0,99
0,25-0,40	0,97	0,97
0,45-0,50	0,93	0,94

**4.2.27.** По мере увеличения числа ударов или проходов по одному следу всех грунтоуплотнителей, за исключением машин и механизмов вибрационного действия, плотность грунтов возрастает. При этом следует учитывать:

а) за 2-4 прохода трамбуемая машина уплотняет грунт на глубину 0,5 м;

б) число проходов пневмоколесных катков по одному следу ориентировочно принимают равным: для песчаных грунтов -2- 3, супесчаных 3- 4, суглинистых и тяжелосуглинистых – 5- 6 проходов по одному следу.

**4.2.28.** Для равномерного уплотнения грунтов по всей ширине уплотняемой полосы, которые достигается одинаковым давлением в шинах пневмокатка, для разных типов грунтов рекомендуется принимать следующие величины этого давления:

на песках – 2- 2,5; на супесях -3-4;

на суглинках и глинах – 5- 6 кг/см<sup>2</sup>.

При этом пневмокатки с нагрузкой на одну шину до 12 т, с давлением в шине 10,5 ат примерно за 30 проходов придают грунту плотность, равную 1,03-1,04 от максимальной стандартной.

При уплотнении связного грунта слоем в 0,3 м с примесью песчаных, пылеватых частиц и гравия виброкаток тяжелого типа весом 9 т за 2, 4, 6 и 8 проходов обеспечивает плотность равную соответственно 0,97; 0,98; 1,01; 1,03 максимальной стандартной. Последующее уплотнение грунта двумя – тремя проходами пневмокатка весом 50 т увеличивает плотность грунта до 1,05-1,07.

**4.2.29.** При уплотнении грунта самоходными пневмокатками с регулируемым из кабины давлением воздуха в шинах рекомендуется первый проход делать при пониженном давлении воздуха (1,5 - 2 кг/см<sup>2</sup>, а последующие - при номинальном).

**4.2.30.** При уплотнении грунта необходимо соблюдать рациональный скоростной режим работы катков. Первый и два последних прохода совершаются на малых скоростях (4-5 км/час), а промежуточные – на максимальных.

**4.2.31.** При уплотнении грунта трамбующей плитой, высота сбрасывания трамбовки, ее вес и площадь (диаметр) определяются по методике расчета параметров трамбующих агрегатов. Ориентировочно вес трамбовки может быть принят таким, чтобы удельное статическое давление на грунт составляло не менее 0,15 кг/см<sup>2</sup> для песчаных и 0,2 кг/см<sup>2</sup> для глинистых грунтов.

**4.2.32.** Необходимое число ударов трамбовки по одному следу определяется по формуле

$$n = \frac{K \times i_p}{i}, \quad (4.2.1)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от требуемой плотности и вида грунта, определяемый по данным, приведенным в таблице 4.2.6;

$i$  – предельный удельный импульс (кгс, сек/см<sup>2</sup>), который определяется по формуле

$$i = \frac{q_{ст} \times V_{уд}}{g} = 0,1 q_{ст} \times V_{уд}, \quad (4.2.2)$$

где  $q_{ст} = \frac{Q}{F}$  – удельное статическое давление трамбовки, кг/см<sup>2</sup>;

$Q$  – общий вес трамбовки, кг;

$F$  – площадь основания трамбовки, см<sup>2</sup>;

$V_{уд}$  – скорость трамбовки в момент удара, м/сек;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>.

#### Значения коэффициента «К»

Таблица 4.2.6

Плотность грунта в долях от максимальной стандартной	Вид грунта	
	связный	несвязный
0,95	4	2
0,98	7	4
1,00	14	10

#### Значения предельных удельных импульсов $i_p$

Таблица 4.2.7

Вид грунтов	Предельные удельные импульсы, кгс, сек/см <sup>2</sup>
Песчаные, супесчаные, пылеватые	0,05-0,07
Суглинистые	0,07-0,12
Тяжелосуглинистые	0,12-0,20
Глины	0,20-0,27

Количество ударов трамбовкой и толщина уплотняемого слоя при необходимости уточняются пробным уплотнением.

**4.2.33.** Режим уплотнения грунта в местах сопряжения с подземными конструкциями устанавливается в зависимости от вида конструкций и требуемой плотности.

**4.2.34.** При уплотнении поверхностными виброуплотнителями песчаных грунтов, содержащих не более 10% глинистых частиц, толщина уплотняемого слоя ориентировочно определяется по номограмме, рис.4.2.1.

По значению удельного статического давления  $q_{ст}$  (кг/см<sup>2</sup>) для определенного виброуплотнителя и процентного содержания глинистых частиц в грунте по номограмме находится соответствующее точке пересечения указанных координат значение  $h_0$ .

Толщина уплотняемого слоя определяется по формуле 4.2.3

$$h=h_0 \times b \quad (2.4.3)$$

где  $b$  – меньший размер рабочей плиты виброуплотнителя, м;

$h_0$  – величина, определяемая по номограмме (рис.4.2.1).

**4.2.35.** Время, необходимое для уплотнения указанных в п. 4.2.34 грунтов, ориентировочно определяется по номограмме (рис.4.2.2).

Число проходов по одному следу, обеспечивающее требуемое время (взятое по номограмме) вибровоздействия на уплотняемый грунт при самопередвигающихся виброуплотнителях, подсчитывается по формуле

$$n=\frac{tv}{l}, \quad (4.2.4)$$

где  $t$  – время, необходимое для уплотнения грунта, сек;

$v$  – рабочая скорость передвижения виброуплотнителя, м/сек;

$l$  – размер рабочей площадки виброуплотнителя в направлении движения, м.

**4.2.36.** Для эффективного использования виброуплотнителей (вибро-трамбовок) при проектировании уплотнения связных грунтов необходимо:

а) производить работу при резонансной частоте системы «виброуплотнитель-грунт»;

б) принимать статическое удельное давление виброуплотнителя (с пригрузкой) на грунт не менее 0,7 кг/см<sup>2</sup>;

в) обеспечивать влажность грунта, равную оптимальной или несколько выше.

**4.2.37.** При работе вибромолотом наибольший эффект уплотнения достигается при соблюдении условий, указанных в п.4.2.35. Удельное статическое давление вибромолота с пригрузкой на грунт должен быть в пределах 0,25-0,35 кг/см<sup>2</sup>.

Рис. 4.2.1. Номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта

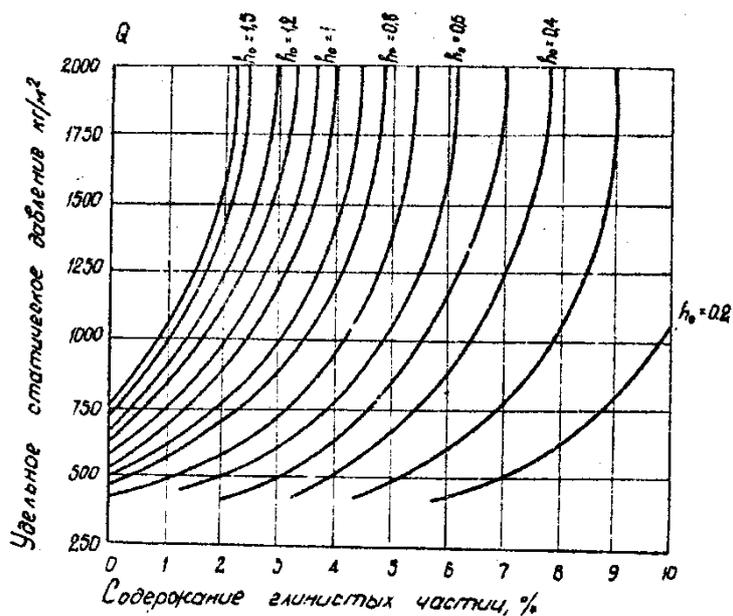
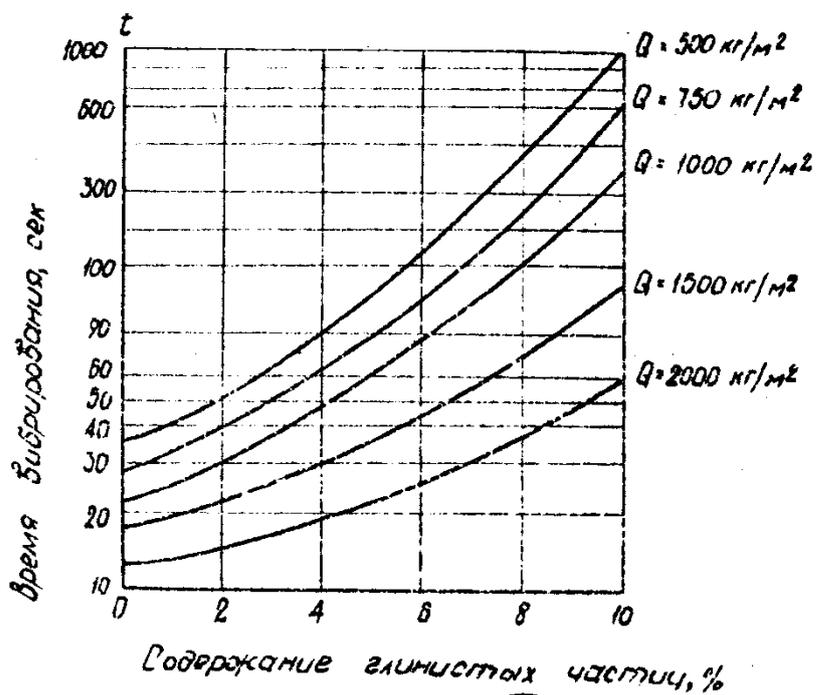


Рис. 4.2.2. Номограмма для определения времени вибрирования



## 4.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ОБРАТНЫМ ЗАСЫПКАМ

### Общие положения

**4.3.1.** Обратные засыпки осуществляют грунтами оптимальной влажности. Поэтому календарный график работ составляется на период когда естественная влажность грунта близка к оптимальной. В районах с влажным климатом эти работы следует производить во второй половине лета и начале осени, а в засушливых- в конце весны и впервой половине лета.

**4.3.2.** Подсушивание грунта производят естественным путем: разрыхлением плугами, дисковыми или пружинными боронами и тракторами-рыхлителями. Рыхлый грунт толщиной 30 - 40 см в жаркую погоду подсушивается в течение 2 - 3 дней. При подсушивании грунта в карьере или в резервах учитывают потери влаги при транспортировании и укладке с таким расчетом, чтобы влажность превышала на 2 - 3% оптимальную.

**4.3.3.** При необходимости уплотнения сильно увлажненного и деформированного транспортными средствами грунта рекомендуется:

а) при возможности смещения этого грунта бульдозером убрать его с рабочей карты на небольшое расстояние и завезти новый грунт с оптимальной влажностью:

б) при наличии резерва сухого грунта (лучше песчаного) с влажностью меньшей, чем оптимальная, подсыпать его и перемешать с переувлажненным грунтом дисковыми боронами до получения смеси с оптимальной влажностью.

Объем подсыпаемого грунта определяют по формуле

$$U_c = U_n \frac{W_n - W_o}{W_o - W_c} \quad (4.3.1)$$

где  $U_c$ - объем сухого грунта, м<sup>3</sup>:

$U_n$ - объем переувлажненного грунта, м<sup>3</sup>:

$W_n$ - весовая влажность переувлажненного грунта ( в долях единицы):

$W_o$  – оптимальная влажность грунта (в долях единицы):

$W_c$  – весовая влажность сухого грунта (в долях единицы):

в) укреплять переувлажненный грунта на глубину разжижения, используя в качестве стабилизирующей добавки моногидратную известь.

При этом известь равномерно распределяют по поверхности обрабатываемой площадки и перепахивают дисковыми боронами до получения однородной смеси. После боронования или на следующий день смесь грунта нужно уплотнить.

Примечания: 1. При влажности грунта, превышающей оптимальную на 6-15%, расход извести составляет примерно 4% (по весу смеси).

2. Расход уточняют пробным внесением извести в переувлажненный грунт.

**4.3.4.** В случае высокого уровня грунтовых вод, обратную засыпку производят после осушения засыпаемых выемок.

**4.3.5.** Увлажнение или доувлажнение грунтов, как правило, производят непосредственно в карьерах или резервах расчетным количеством воды, заливая её:

с поверхности при достаточных коэффициентах фильтрации грунтов (более 0,1 м/сут) и толщине слоя до 1м;

через скважины, заполненные песком, пройденные на 0,7...0,8 ниже глубины увлажненной толщи, через 3...5м одна от другой.

Количество воды, необходимое для доувлажнения грунта, определяется по формуле

$$Q = \frac{\rho_d}{\rho_B} (RW_0 - W)V,$$

где  $\rho_d$  - среднее значение плотности скелета уплотненного грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_B$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>;

$W_0$  - оптимальная влажность грунта, доли единицы;

$W$  - природная влажность грунта, доли единицы;

$V$  - объем увлажненного грунта, м<sup>3</sup>;

$K$  - коэффициент, учитывающий влияние климатических условий;

при замачивании через скважины он принимается равным 1;

при замачивании с поверхности грунта в летнее время при возможности испарения воды -1,1, а в дождливое время -0,9.

**4.3.6.** Увлажнение лессовидных грунтов производят в условиях естественного залегания, так как в разрыхленном состоянии они увлажнению не поддаются.

**4.3.7.** Грунты в резервах и карьерах увлажняют напуском воды на предварительно обвалованные карты или при помощи системы разбрызгивателей.

**4.3.8.** Поливку грунта в процессе его укладки при необходимости незначительного его доувлажнения производят машинами или с помощью разбрызгивателей из шлангов, подсоединяемых к трубопроводам. Время увлажнения грунта, которое необходимо для равномерного полива карты заданных размеров, определяют по формуле

$$t_n = \frac{Q_B}{R} \times S_k \times h, \quad (4.3.2)$$

где  $Q_B$  - количество воды, необходимое для доведения 1м<sup>3</sup> грунта до оптимальной влажности, м<sup>3</sup>;

$R$  - расходы воды из разбрызгивателя, м<sup>3</sup>/сек;

$S_k$  - площадь поливаемой карты, м<sup>2</sup>;

$h$  - толщина слоя грунта после разравнивания перед уплотнением, м.

**4.3.9.** Поливку грунта при его укладке выполняют в такой последовательности:

разрыхляют поверхность ранее уложенного слоя:

поливают разрыхленную поверхность с расходом одной трети воды потребной для увлажнения:

производят отсыпку грунта и черновое распределение его по рабочей карте:

поливают слой грунта, затем его перемешивают и разравнивают бульдозером.

**4.3.10.** Рыхление поверхности основания или ранее уплотненного грунта производят дисковыми боронами за 2-3 проходов по одному следу в пределах рабочей карты. При этом не допускается боронование поверхности грунта при уплотнении виброкатками и падающей трамбовкой, когда верхний слой уже разрыхлен. Не рекомендуется рыхлить поверхность песчаных грунтов.

В стесненных условиях рыхление не производится.

**4.3.11.** При устройстве резервов с целью сохранения в них естественной влажности необходимо соблюдать следующие требования:

а) располагать резервы на возвышенных местах во избежание их подтапливания поверхностными стоками:

б) тщательно планировать откосы и поверхность резервов. Верх резерва устраивать с уклонами не менее 4% от оси резерва к его краям:

в) устраивать водоотводные каналы или оградительное обвалование резервов.

**4.3.12.** При транспортировании грунта к месту работ автосамосвалы разгружают на уровне его укладки. Грунт разгружают сплошной отсыпью (при отсыпке слоя большой толщины) или отдельными полосами – при слоях меньшей толщины.

При невозможности заезда автосамосвалов на рабочую карту разгрузку осуществляют на откос выемке. При этом автосамосвал останавливают на расстоянии 1 м от откоса.

**4.3.13.** При подаче грунта на рабочую зону разгрузку автосамосвалов производят непосредственно в бункер грунтоукладчика.

**4.3.14.** Отсыпку грунта осуществляют слоями одинаковой толщины с целью обеспечения равномерного уплотнения. Необходимые замеры в процессе отсыпки производят металлическим щупом с нанесенными делениями.

**4.3.15.** Разравнивание слоев несвязных грунтов при уплотнении их самопередвигающимися вибротрамбовками выполняют особенно тщательно. При этом местные уклоны поверхности не должны превышать 10% вдоль движения уплотнителей и 5% - поперек движения.

**4.3.16.** При уплотнении песчаных грунтов гидровиброуплотнителями засыпку их в котлован производят слоями большой толщины (до 10 м) без тщательного выравнивания поверхности слоя.

**4.3.17.** Несвязные грунты, уплотняемые виброкатками и катками с гладкими вальцами, тщательно разравнивают и попутно уплотняют бульдозерами, так как движение катков по свежесыпанному грунту затруднено.

**4.3.18.** Для повышения эффективности уплотнения катками и уменьшения налипания грунта на вальцы и между кулачками, поверхность

уплотняемого слоя после предшествовавшего увлажнения следует посыпать песком.

**4.3.19.** Доуплотнение сравнительно плотных грунтов (особенно при недостаточной их влажности) рекомендуется производить пневмокатками тяжелого типа. Кулачковые катки для этой цели непригодны.

**4.3.20.** Для достижения равномерного уплотнения все слои из однородного грунта уплотняют одинаковым количеством проходов или ударов по одному следу.

**4.3.21.** Уплотнение каждого слоя грунта в пределах рабочей карты машинами, перемещающимися по уплотняемой поверхности, производят так, чтобы последующие проходы по одному следу производились после выполнения предыдущих на всей поверхности рабочей карты.

**4.3.22.** Во избежание пропусков при уплотнении грунта все последующие проходы должны «вразбежку» покрывать предыдущие. При этом параллельные следы проходов перекрывают друг друга на 0,05-0,1 м.

**4.3.23.** Уплотнение грунта трамбовочными плитами или гидромеханическими виброуплотнителями следует осуществлять концентрическими полосами. Для рационального использования этих механизмов ширина отдельных уплотняемых участков (при движении уплотнителей по оси уплотняемого участка) принимается - 1,4 радиуса действия стрелы крана. При этом угол между крайними положениями стрелы агрегата не должен превышать 90°.

**4.3.24.** Перемещение навесных уплотнителей на новую стоянку необходимо производить после окончания уплотнения грунта в пределах полосы (или двух-трех полос для крана). При этом верхний разрыхленный слой грунта доуплотняют легкими трамбовками, сбрасываемой с высоты 0,5-1,0 м.

**4.3.25.** При уплотнении грунта в непосредственной близости от зданий и сооружений следует определять силу воздействия из них грунтоуплотняющих машин\*.

**4.3.26.** Применение трамбуемых машин допускается при продольном уклоне уплотняемой поверхности до 18% и поперечном – не более 9%.

**4.3.27.** Уплотнение обратной засыпки из песчаных грунтов гидровиброуплотнителями производят при следующих условиях:

при непросадочных грунтах оснований сооружений;

наличии водоснабжения и электроснабжения площадки;

необходимости уплотнения больших концентрированных масс песка при слое значительной толщины 2-10 и более м;

допустимости интенсивного замачивания засыпок.

Для засыпок траншей, имеющих большую протяженность, гидровиброуплотнение не применяется. В зимнее время этот метод также неприемлем.

*Примечание:* Это делают опытным путем с помощью сосуда с водой, прикрепляемого к конструкциям или устанавливаемого на грунт в месте его контакта с конструкциями. Колебание воды в сосуде указывает на наличие динамического воздействия на конструкции.

**4.3.28.** При устройстве засыпок из местных грунтов над проходными тоннелями и другими пустотелыми конструкциями при толщине слоя над ними в I м допускается уплотнение грунта механизмами статического действия весом

до 5 т и вибротрамбующими плитами весом до 1 т. Если толщина слоя над этими конструкциями составляет более 1 м, уплотнение грунта производят механизмами любого типа.

**4.3.29.** Необходимо соблюдать меры, предотвращающие увлажнение грунта поверхностными водами. В связи с этим обратные засыпки следует осуществлять сразу после устройства фундаментов подземных сооружений и прокладки коммуникаций.

**4.3.30.** Обратные засыпки, являющиеся основанием под фундамент, полы и другие конструкции, необходимо выполнять незадолго перед возведением сооружений, так как в результате длительного атмосферного воздействия их верхний слой разплотняется. Этот слой засыпок перед установкой фундаментов следует повторно уплотнить.

**4.3.31.** На выполнение обратных засыпок составляется проект производства работ, в котором разрабатывается технология поверхностного уплотнения грунта, выбор толщины отсыпаящих слоев, типа и режима уплотняющих механизмов, способа производства работ.

**4.3.32.** Технологические операции при поверхностном уплотнении грунта обратных засыпок должны выполняться в следующем порядке: послойная отсыпка, разравнивание и уплотнение грунта.

**4.3.33.** Для послойной отсыпки грунта на участке при производстве работ по устройству обратных засыпок следует применять одноковшовые экскаваторы или краны, оборудованные грейферным ковшом, экскаваторы-планировщики, оборудованные погрузочным ковшом, бадьи, транспортеры. При этом:

отсыпка грунта в пазухи, образованные сложными в плане фундаментами, должна осуществляться с помощью экскаваторов, оборудованных грейферным ковшом, экскаваторов-планировщиков, а также транспортеров;

отсыпка грунта в пазухи, доступ к которым прегражден возведенными конструкциями, должна осуществляться преимущественно системой транспортеров;

подача грунта в наружные пазухи котлованов и траншей при размещении его на бровках должна осуществляться бульдозерами.

**4.3.34.** Обратную засыпку котлованов и траншей в зимнее время следует производить талым грунтом.

Работы по устройству обратных засыпок необходимо производить с такой интенсивностью, чтобы укладываемый грунт не замерзал до окончания работ по его уплотнению.

**4.3.35.** Для послойного разравнивания грунта следует применять малогабаритные бульдозеры и экскаваторы-планировщики.

В местах, размеры которых исключают возможность применения указанных машин, разравнивание грунта следует выполнять вручную.

**4.3.36.** Послойное уплотнение грунта следует производить уплотняющими машинами и механизмами, указанными в таблице 4.3.1.

**4.3.37.** Уплотнение грунта в котлованах и траншеях с отдельно стоящими фундаментами под колонны необходимо начинать с зон вокруг фундаментов (подколонников).

**4.3.38.** При уплотнении грунта вблизи строительных конструкций подвесной (на тросе) тяжелой трамбовкой не допускается ее раскачивание.

**4.3.39.** Поверхностное уплотнение грунта подвесными к кранам и экскаваторам трамбовками, виброплитами и вибротрамбовками следует производить в два приема: предварительное уплотнение грунта по всей площади уплотняемого участка, а затем окончательное – до требуемой плотности скелета грунта.

**4.3.40.** В местах обратных засыпок с разными уровнями участков начинать уплотнение грунта следует на пониженных участках.

**4.3.41.** При соблюдении условия  $M \leq 5m$  (где  $M$  – масса 1м длины линейных строительных конструкций или общая масса отдельно стоящих строительных конструкций, а  $m$  – масса уплотняющей машины или механизма) засыпку следует производить одновременно с двух (или более) сторон конструкции, а при  $M \geq 5m$  – поочередно.

**4.3.42.** При возведении объектов со сложными фундаментами под оборудование и подземными сооружениями, образующими в плане систему замкнутых полостей, тупиковых и узких проходов, обратные засыпки следует выполнять сразу после окончания работ по монтажу конструкций, подлежащих засыпке, и устройству их гидроизоляции.

**П р и м е ч а н и е.** В труднодоступных местах уплотнение грунта следует производить ручным немеханизированным инструментом. Допускается труднодоступные места засыпать песчаным грунтом с последующим замачиванием его, кроме мест, основания которых сложены просадочными грунтами II типа.

### Глубина уплотнения различными уплотняющими механизмами

Таблица 4.3.1

Механизм	Толщина слоя в уплотненном состоянии на грунтах, м		Число проходов (ударов трамбовки)
	Песчаных, гравелистых	Глинистых	
1	2	3	4
Пневмокатки массой 25т	0.5	0.5	10...12
Тоже 40т	0.6	0.7	10...12
Груженые автомашины			
БелАЗ	0.6	0.7	8...10
КрАЗ	0.5	0.9	10...12
МАЗ	0.4	0.4	10...12
Трамбовки:			
диаметром 1.2м, массой 2.5т	2.2	2	10...12
диаметром 1.4м, массой 3.5т	2.6	2.4	10...12
диаметром 1.6м, массой 4.5т	3.0	2.7	10...12
диаметром 2.0м, массой 6т	3.6	3.2	10...12
Трактора Т-100, Т-140	0.3	0.2	8...10
Трамбующие машины Д-471	1.2	1.0	2...3
Вибрационные, виброударные машины, массой до 0.5т	0.5	0.15	2...3
Тоже, массой 1т	0.7	0.2	2...3

Механизм	Толщина слоя в уплотненном состоянии на грунтах, м		Число проходов (ударов трамбовки)
	Песчаных, гравелистых	Глинистых	
Тоже, массой 1.5т	1.0	0.3	2...3
Виброкатки массой до 2т	0.7	0.3	2...3
Тоже массой до 5т	1.0	0.4	2...3
Станки ударно-канатного бурения для глубинного уплотнения	-	10...12	-

### **Выполнение обратных засыпок котлованов с установленными фундаментами и колоннами**

**4.3.43.** Засыпку котлованов с установленными фундаментами и колоннами необходимо выполнять, руководствуясь указаниями пп. 4.3.44-4.3.50.

**4.3.44.** Подачу грунта осуществляют автосамосвалами грузоподъемностью не более 5т. При шаге колонн 12м и более, когда установленные фундаменты не препятствуют движению транспорта, отсыпку грунта ведут, начиная с дальних точек котлована, «на себя». При этом автосамосвал движется по основанию, на которое производится укладка слоя.

Отсыпку производят полосами вдоль пролета, с расстояниями между конусами отсыпки, определяемыми расчетом в зависимости от толщины отсыпаемого слоя грунта.

**4.3.45.** При 6-метровом шаге колонн и расположении фундаментов, препятствующих движению автосамосвалов, отсыпку грунта в нижние слои обратной засыпки производят «головным способом» с движением по отсыпаемым слоям. При наезде автосамосвалов на ступени фундаментов толщина слоя грунта (в рыхлом состоянии) под колесами должна быть не менее 0,3м.

**4.3.46.** Послойное разравнивание грунта выполняют бульдозерами малогабаритными и микробульдозерами, а в местах, недоступных для их использования (ширина просвета между фундаментами менее 0,9м), вручную.

**4.3.47.** При отсыпке грунта по схеме, описанной в п.4.3.45, грунт в нижележащие слои подается малогабаритным бульдозером на расстояние до 10м.

**4.3.48.** Уплотнение грунта, выполняемое в стесненных местах электро-трамбовками или вибротрамбующими плитами производят на отдельных участках длиной до 10м параллельными проходками. При этом в первую очередь грунт уплотняют в непосредственной близости от фундаментов колонн, затем – в промежутках между ними.

**4.3.49.** Для уплотнения грунта выше фундаментов колонн следует использовать самоходные кулачковые, катки вибрационные катки, тракторы с наваренными на траки кулачками. Уплотнение производят по челночной схеме.

**4.3.50.** Обратную засыпку котлована песчаными грунтами при залегании в основании фундаментов непросадочных дренирующих грунтов и наличии дешевого источника водоснабжения рекомендуется выполнять путем

последней укладки (слоями толщиной 0,2м) и обильной поливу водой, создающей эффект гидронамыва.

### **Выполнение обратных засыпок котлованов при сложных в плане фундаментах**

**4.3.51.** Обратную засыпку пазух котлована при сложных в плане фундаментах и подземных конструкциях, образующих в плане систему замкнутых полостей, тупиков и коридоров, исключающих применение крупногабаритных механизмов, следует выполнять в соответствии с ниже предвиденными рекомендациями после возведения подземной части здания или сооружения, расопалубования и выполнения гидроизоляционных работ.

**4.3.52.** Грунт, подвозимый на площадку автосамосвалами, загружают в приемный бункер грунтоукладчика, установленного на бровке котлована, который подает его к месту укладки слоями заданной толщины. Равномерное распределение грунта производят гибким «хоботом» подвешенным к концу подающего транспортера.

**4.3.53.** Слой грунта отсыпают в пределах контура ближайшего к стоянке грунтоукладчика. Затем агрегат перемещается к следующему контуру и далее в пределах действия (до 20м от оси вращения).

**4.3.54.** Расстояние между стоянками грунтоукладчика принимают в  $\frac{1}{2}$  максимального радиуса его действия, а угол между крайними положениями оси транспортера должен быть не более  $90^\circ$ .

Для подачи грунта на отдаленные участки производят засыпку наружной пазухи котлована, чтобы приблизить стоянки грунтоукладчика к засыпаемому участку.

**4.3.55.** При засыпке пазух фундаментов с различной глубиной заложения в первую очередь выполняют работы в пределах участка с пониженными отметками до достижения общего уровня, затем работы ведут по всему котловану.

**4.3.56.** Уплотнение грунта производят с помощью крана, установленного на бровке котлована. При этом, с вибротрамбовкой, двигаясь за грунтоукладчиком вдоль котлована, уплотняют отсыпаемые им слои грунта.

В первую очередь необходимо уплотнять грунт в непосредственной близости от подземных конструкций, затем в середине уплотняемого поля.

**4.3.57.** При тонкостенных подземных конструкциях для уменьшения бокового давления на конструкции уплотнение слоев грунта производят уменьшенной толщины.

**4.3.58.** В случае, когда вылет стрелы крана не позволяет произвести уплотнение грунта по всей ширине участка с бровок котлована, необходимо выполнить весь объем работ (до проектных отметок) в зоне действия крана, затем используя деревянный настил, переместить кран для выполнения оставшегося объема работ.

**4.3.59.** При заполнении грунтом полостей с размерами менее 0,7м, в которые невозможно ввести вибротрамблер, уплотнение его производят ручными электротрамбовками или вручную.

**4.3.60.** Обратную засыпку пазух котлована при сложных в плане фундаментах и подземных конструкциях, образующих замкнутые полости, тупики и узкие коридоры, и установленных конструкциях надземной части следует выполнять в соответствии с рекомендациями п. 4.3.61.

**4.3.61.** Перед уплотнением каждый слой грунта необходимо тщательно разравнивать микробульдозером или вручную. При выполнении работ в замкнутых контурах перестановку уплотнителей на очередной участок производят краном.

Послойное уплотнение грунта выполняют вибротрамбующими плитами или электротрамбовками.

## **4.4. ОПЫТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ**

**4.4.1.** Опытное уплотнение обратных засыпок производят до начала или в процессе устройства обратных засыпок с целью уточнения:

толщины уплотняемого слоя грунта для принятых машин и механизмов;  
необходимого количества проходов (ударов) по одному следу для получения требуемой плотности;

значения оптимальной влажности для используемых видов грунтов;  
тарировки устройств для контроля плотности укладываемой обратной засыпки.

**4.4.2.** Опытное уплотнение должно производиться всеми типами грунтоуплотняющих машин по каждому виду грунта.

**4.4.3.** При одинаковых грунтах на объекте опытное уплотнение производят в одном-двух местах.

**4.4.4.** Площадки для опытного уплотнения выбираются в наиболее характерных условиях комплекса сооружений в стороне от застраиваемых участков.

**4.4.5.** Основание опытной площадки должно быть доведено до плотности, принятой в проекте. Размеры площадки принимаются:

при уплотнении трамбованием – 2 × 6м; или не менее 5 диаметров трамбовки.

при уплотнении укаткой – 6 × 12м.

**4.4.6.** Опытное уплотнение производят при трех значениях влажности грунтов, равных  $W_1=W_0$ ,  $W_2=1,2W_0$ ;  $W_3=0,8h_0$ , где  $W_0$  – оптимальная влажность грунта, ориентировочно принимается по таблице 4.1.3 настоящего раздела Рекомендаций или определяется прибором стандартного уплотнения по РСТУз786-97.

**4.4.7.** Толщина уплотняемых слоев принимается равной  $h_1=N$ ;  $h_2=1,2N$  и  $h_3=0,8N$ , где  $N$ - ориентировочная величина уплотняемого слоя грунта таблица 4.2.4.

**4.4.8.** Оптимальное уплотнение производят тремя вариантами проходов катков с 6,8 и 10 или 8,10 и 12 ударами трамбовки по одному следу.

**4.4.9.** После уплотнения грунта на каждом пункте опытного участка для определения плотности скелета грунта и влажности отбирают не менее двух проб (через 20см) по глубине в верхней и нижней зонах уплотненного слоя.

**4.4.10.** Опытное уплотнение совмещают с отработкой способа контроля плотности грунта при помощи устройств для динамического или статического зондирования (РСТ Уз 739-96; РСТ Уз 740-96).

## **4.5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ОБРАТНЫХ ЗАСЫПОК**

**4.5.1.** Возведение обратных засыпок котлованов и траншей включает достаточно большой комплекс работ. В этих условиях необходимо качественное выполнение всех видов работ. Поэтому при возведении обратных засыпок котлованов и траншей следует осуществлять систематический пооперационный контроль за:

качеством выполненных работ по подготовке дна котлованов и поверхности для возведения обратных засыпок;

соответствием отсыпаемого грунта принятому в проекте производства работ или в технологической схеме их выполнения, однородностью грунта, наличием гумусированного или почвенного слоя органических включений, строительного мусора, комьев мерзлого или переувлажненного грунта и т.п.;

толщиной отсыпаемых слоев грунта, путем нивелирования или погружения в него металлического щупа;

влажностью отсыпаемого грунта;

соответствием типа и веса грунтоуплотняющих механизмов, принятым в проекте или в технологической схеме производства работ;

числом проходов (ударов) грунтоуплотняющих механизмов;

степенью плотности уплотненного грунта.

**4.5.2.** Степень плотности уплотненных грунтов оценивается по плотности скелета, которая может определяться методами:

а) парафинированием отобранных проб грунтов из прямков и шурфов;

б) режущего кольца в прямках и шурфах;

в) радиоактивных изотопов поверхностными приборами;

г) радиоактивных изотопов в скважинах;

д) зондированием песчаных грунтов.

Первые три метода используются, как правило, при толщине отсыпаемых слоев до 1м, а последние – при толщине уплотненного слоя более 1-2м.

**4.5.3.** При контроле качества уплотнения грунтов плотность скелета их определяется в каждом намеченном пункте при толщине уплотненного слоя: до 50см – в середине слоя; 50...80см – на двух горизонтах, расположенных на расстоянии 10...15см от верха и низа слоя; 1,5...2,5м – 50см по глубине; более 3м – в пределах верхнего слоя на глубину 2м через 0,5м, а ниже через 1м по глубине.

**4.5.4.** Контроль качества уплотнения грунтов с толщиной слоя до 2,5м во многих случаях целесообразно осуществлять по отказу. При этом уплотнение признается удовлетворительным, если отказ при одном ударе трамбовки диаметром 1,2-1,4м и массой 2,5-3,5т при высоте сбрасывания 3,5-4м не превышает на глинистых грунтах 3-4см. Контроль качества уплотнения грунтов по отказу оформляется соответствующим актом или записью в журнале производства работ.

При отсутствии данных послойного контроля проверяют степень плотности отсыпанных грунтов одним из принятых методов из расчета одного шурфа или скважины на каждые 300...500м<sup>2</sup> уплотненной площади или на каждые 200м<sup>3</sup> уплотненного грунта.

**4.5.5.** При уплотнении грунта засыпок свободно подающими трамбовками, качество уплотнения допускается определять по фактическому понижению уплотняемой поверхности, величина которой за последний удар не должна превышать 2см.

**4.5.6.** Допускается отклонение фактической (достигнутой) плотности скелета грунта от проектной не более чем на 0,03 г/см<sup>3</sup> в 10% отобранных проб. Коэффициент уплотнения не должен отклоняться от проектного в меньшую сторону, более чем на 2%.

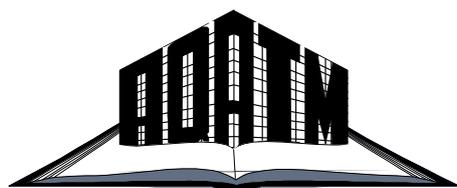
При несоблюдении указанных требований надлежит уточнять технологию уплотнения грунтов обратной засыпки и типы грунтоуплотняемых машин и механизмов.

**4.5.7.** Сдача-приемка выполненных работ по обратным засыпкам котлованов производится комиссией по данным журнала производства работ.

**4.5.8.** Наблюдения за качеством работ по уплотнению осуществляется заказчиком, технической инспекцией, авторским надзором, геотехнической или строительной лабораторией с соответствующими записями в журнале производства работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В.П. Техническая мелиорация лессовых грунтов.
2. Дуллер И.Л. Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов. М. Стройиздат, 1984г.
3. Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов, М.Л. Госэнергоиздат, 1962г.
4. Инструкция по устройству обратных засыпок грунтов в стесненных местах СН 536-81. М. Стройиздат . 1982г.
5. КМК 2.01.03-96 Строительство в сейсмических районах.
6. КМК 1.02.07-97 Инженерные изыскания в строительстве.
7. КМК 3.02.01-97 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
8. КМК 2.06.04-97 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения.
9. КМК 2.02.01-98 Основания зданий и сооружений.
10. КМК 02.02-98 Основания гидротехнических сооружений.
11. Крутов В.И. Эйдин Р.П. Устройство обратных засыпок, М. Стройиздат, 1981г.
12. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. М. Энергоиздат, 1959г.
13. Методические указания по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях (ХПЛИТИ, 2000г.).
14. Отчет НИР за 2000-2002гг по разработке динамической устойчивости водонасыщенных грунтов (ЗПЛИТИ).
15. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83).
16. Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83).
17. Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтов оснований, Т. «Узбекистан», 1984г.
18. РСТ Уз25100-95 (ГОСТ 25100-95). Грунты. Классификация.
19. Рекомендации по строительству на просадочных грунтах в условиях Узбекской ССР, УзНИИТИ, Ташкент – 1979г.
20. Руководство по устройству обратных засыпок на строительстве предприятий металлургической промышленности. Донецк, 1974г.
21. СН 31-58 Инструкция по поверхностному уплотнению грунтов оснований зданий и промышленных сооружений тяжелыми трамбовками.
22. Схема районирования территории РУз по грунтовым условиям для градостроительства, планирования и расселения. ЗПЛИТИ, Ташкент 2002г.
23. Указания по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений возводимых на насыпных грунтах СН 360-66, М. Стройиздат, 1967г.
24. Усманходжаев И.И., Частоедов Ю.Н. Районирование территории Узбекистана по инженерно-геологическим условиям. АКАТМ. Т, 2007г.
25. Цытович Н.А. Механика грунтов, М Стройиздат, 1963г.



Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Условный печатный лист 7,875 (126 стр).

Отпечатано в ИВЦ АҚАТМ

Госархитектстроля Республики Узбекистан

г.Ташкент. ул Абай,6

тел.: 244-04-26 факс: 244-79-11



2.1.4 Переход водонасыщенных грунтов при динамических воздействиях в динамически неустойчивое состояние зависит от целого ряда факторов: внешних и внутренних.

2.1.5 В зависимости от свойств и состава водонасыщенных грунтов (внутренние факторы), характера и длительности приложенных динамических (ударных и вибрационных), а также статических нагрузок (внешние факторы), неблагоприятные последствия динамического воздействия, могут проявляться в виде вибропросадочности, пловунности и разжижения.

2.1.5.1 Выбропросадочностью называется способность грунта к дополнительному уплотнению при динамическом воздействии.

2.1.5.2 Пловунность – это способность водонасыщенных дисперсных грунтов переходить в подвижное состояние при вскрытии их горными выработками. При этом выделяют: истинные пловуны – пески, содержащие коллоидные частицы, придающие подвижность песку и, псевдопловуны – чистые пески, подвижность которых обуславливается гидрогеологическим режимом (подпором) или динамическим воздействием.

2.1.5.3 Разжижение песков – наиболее грозное явление, связанное с динамическим воздействием. Разжижение грунтов тесно связано с явлением тиксотропии.

2.1.5.4 Тиксотропия – разрушение структуры грунта при механическом воздействии и последующее самопроизвольное развитие ее во времени. Тиксотропия представляет собой обратимый изотермический процесс: многократные динамические воздействия одной и той же интенсивности приводят к одним и тем же последствиям. Упрочнение при разжижении – необратимый процесс: после уплотнения грунт практически теряет способность к разжижению под действием таких же, как первоначальная, динамических нагрузок. Для повторного проявления разжижения необходимы более мощные динамические воздействия.

2.1.6 Возможность проявления вышеперечисленных неблагоприятных явлений, связанных с динамическим воздействием на грунт и степень их проявления зависят от динамической устойчивости грунтов.

Под динамической устойчивостью понимается сопротивление грунтов динамическому воздействию, определяемое рядом внешних и внутренних факторов. В общем случае условие, устойчивость грунта на строительной площадке можно представить в виде уравнения:

$$\tau \pm \Delta \tau_{\dot{A}}(t) \leq [G - P(t) \pm \Delta G_{\dot{A}}(t)] \operatorname{tg} \varphi \quad (2.1.1)$$

где  $\tau$  и  $G$  – касательные и нормальные напряжения в скелете грунта до приложения динамической нагрузки;

$\Delta \tau_{\dot{D}}(t); \Delta G_{\dot{D}}(t)$  – дополнительные напряжения в период действия динамической нагрузки;

$P(t)$  – избыточное давление в поровой воде, возникающее в результате действия динамической нагрузки;

$\operatorname{tg} \varphi$  - тангенс угла внутреннего трения.

2.1.7 К видам динамических воздействий, возникающих на строительной площадке относятся (таблица 2.1.1)

Таблица 2.1.1

Виды динамических воздействий	Параметры воздействий	Максимальное ускорение колебания частиц грунта, мм/с <sup>2</sup>	Относительное ускорение, $\alpha/g$ , мм/с <sup>2</sup>
Сейсмические	6 баллов	300 – 600	310 – 610
	7 баллов	610 – 1200	620 – 1220
	8 баллов	1210 – 2400	1230 – 2440
	9 баллов	2410 - 4800	2460 - 4890
Промышленные	Машина с вращающимся двигателем при числе оборотов 1200 об/мин и амплитуде колебания 0.1мм	390	400

## 2.2 Показатели динамической устойчивости

2.2.1 В качестве критерия возможности динамического нарушения структуры водонасыщенного грунта принимается так называемый показатель критического ускорения колебания,  $\alpha_{кр}$ , мм/с<sup>2</sup>, м/с<sup>2</sup>.

Критическим называют такое ускорение колебания частиц грунта, при превышении которого интенсивность связанного с ним силового воздействия нарушает структуру грунта – водонасыщенный грунт переходит в динамически возбужденное состояние, т.е. разжижается.

2.2.2 Условием динамической устойчивости водонасыщенного грунта по методу критических ускорений является соблюдение выражения, когда:

$$\alpha_{расч.} \leq \alpha_{кр.} \quad (2.2.1)$$

где  $\alpha_{расч.}$  – расчетное ускорение колебания, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>;

$\alpha_{кр.}$  – критическое ускорение колебания, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>.

При сейсмических воздействиях:

$$\alpha_{расч} = \alpha_c \cdot K_{зан.} \quad (2.2.2)$$

где  $\alpha_c$  – сейсмическое ускорение колебаний, мм/с<sup>2</sup> или м/с<sup>2</sup>

$K_{зан.}$  – коэффициент запаса на негармоничность колебаний, равный 1.5-2.0.

При значениях расчетного или действующего ускорения колебания больше критического, водонасыщенная масса грунта переходит в динамически неустойчивое состояние, происходит нарушение структуры грунта и как следствие, проявление процесса разжижения.

2.2.3 Критическое ускорение колебания присуще каждому виду грунта, в зависимости от его состава и состояния и определяется в лабораторных или полевых условиях по методу критических ускорений (метод Н.Н.Маслова), по

специальным программам на виброустановках или расчетным путем (раздел 2.4).

Сущность метода критических ускорений, методика проведения испытаний, обработка результатов регламентируются «Методическими указаниями по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях», разработанной ЗПЛИТИ и утвержденных Госкомархитектстроем за №13 от 6.03, 2000г.

2.2.4 Исследования по определению критического ускорения  $\alpha_{кр}$  выполняются с целью получения исходных данных для выбора мероприятий по обеспечению динамической устойчивости указанных выше грунтов, при использовании их как основания или материала земляных сооружений.

2.2.5 В песчаных грунтах процесс разжижения проявляется быстро, при этом происходит уплотнение песка.

В связанных грунтах процесс разжижения имеет более сложную физико-механическую природу, связанную с изменением внутренних связей грунта при вибрации и приводит к таким явлениям, как псевдоплавучесть и тиксотропия. Процесс этот более длительный, начало деформации связных грунтов в отличие от несвязных происходит не с момента приложения динамической нагрузки, а по истечении некоторого отрезка времени.

При переходе грунта в динамически неустойчивое (разжиженное) состояние образуются восходящие токи отжимаемой воды, создается силовое поле, которое характеризуется значением динамических напоров  $h_z$ .

## 2.3 Факторы, влияющие на динамическую устойчивость грунтов

2.3.1 Критическое ускорение колебания, как показатель динамической устойчивости грунтов, присуще каждому виду грунта и зависит от целого ряда внешних и внутренних факторов (рисунок 2.3.1).

2.3.2 Критическое ускорение колебания для песчаного грунта является функцией факторов (внутренних и внешних)

$$\alpha_{кр} = f(A, P_n, \rho_d, T, d_{ср}, П_m, \lambda, P, P_3, P_0, I_d) \quad (2.3.1)$$

где  $A$  – параметры колебания (амплитуда, частота);

$P_n$  – внешняя нагрузка (нормальное напряжение) в грунте;

$\rho_d$  – плотность скелета, г/см<sup>3</sup>;

$T$  – длительность колебания, с;

$d_{ср}$  – крупность частиц песка (средний диаметр);

$П_m$  – показатель максимальной неоднородности;

$\lambda$  – показатель морфологии песка;

$P_3$  – минеральный состав;

$P_0$  – органический состав;

$I_d$  – относительная плотность.

Для лессового (глинистого) грунта

$$\alpha_{кр} = f(A, P_n, \rho_d, T, P_3, P_0) \quad (2.3.2)$$

2.3.3 К внешним факторам относятся, прежде всего, напряженное состояние грунта, зависящее от нормальной внешней нагрузки и параметров

динамического воздействия (амплитуда, частота и продолжительность колебания), определяющих интенсивность динамического воздействия.

Зависимость критического ускорения от нагрузки представляется в виде

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\delta} = \alpha_{\varepsilon\delta}^0 + mP_n \quad (2.3.3)$$

где  $P_n$  – нормальное напряжение (нагрузка), МПа;

$m$  – угловой коэффициент;

$\alpha_{\varepsilon\delta}^0$  – критическое ускорение присущее тому или иному виду грунта без нагрузки, мм/с<sup>2</sup>;

$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\delta}$  – тоже под нагрузкой, мм/с<sup>2</sup>.

Зависимость критического ускорения от параметров колебания представляется в виде:

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon} = \alpha_{\varepsilon\delta}^i + m\dot{A} \quad (2.3.4)$$

где  $\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon}; \alpha_{\varepsilon\delta}^i$  – значения критического ускорения соответственно при конечных и начальных амплитудах колебания, мм/с<sup>2</sup>.

2.3.4 К внутренним факторам относятся: структурные особенности (для песков: крупность, однородность, окатанность и обработанность т.е. морфология песчаных частиц), вещественный состав (минеральный, содержание органики, солей), плотность сложения, а для лессовых грунтов дополнительно и связность.

2.3.5 Общая структура формулы для оценки возможного влияния внутренних факторов на величину критического ускорения имеет вид:

$$\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon} = \alpha_{\varepsilon\delta}^i \pm \sum_1^n \Delta\alpha_i \quad (2.3.5)$$

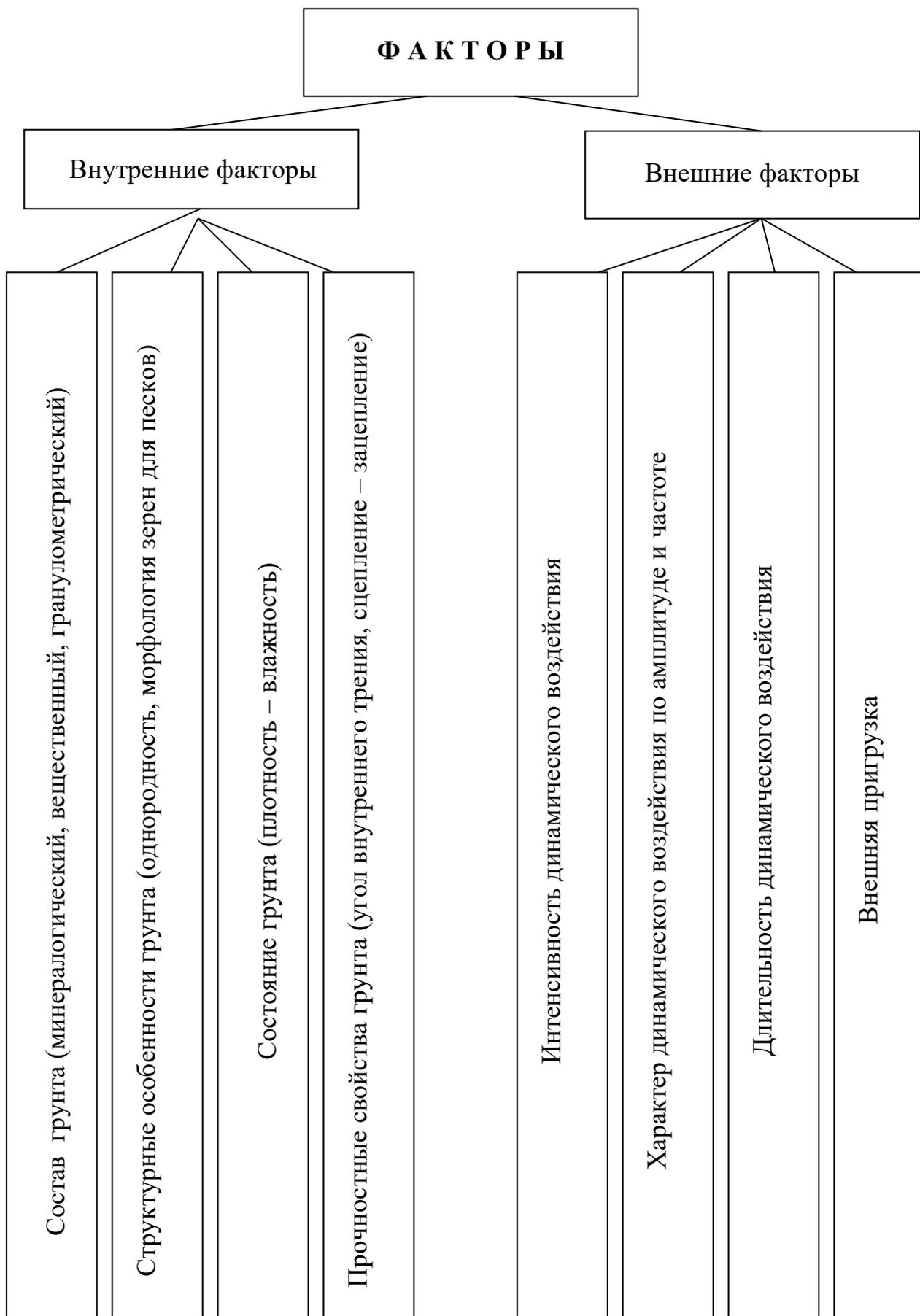


Рисунок 2.3.1 – Факторы, влияющие на динамическую устойчивость песков.

где  $\alpha_{\varepsilon\delta}^{\varepsilon}$  - искомая величина критического ускорения колебания, мм/с<sup>2</sup>;

$\alpha_{\varepsilon\delta}^i$  - начальное критическое ускорение, присущее тому или иному виду грунта, определяется расчетным или опытным путем;

$\Delta\alpha_i$  - величина приращения или уменьшения критического ускорения в зависимости от i-го фактора;

$n$  – число факторов.

2.3.6 Установлено, что неоднородность и необработанность песков повышают величину критического ускорения.

Роль морфологии песков в суммарном влиянии внутренних факторов на их динамическую устойчивость составляет от 67 до 96%. Под морфологией песков понимается обработанность и окатанность песчаных частиц. Морфология песков оценивается по показателю морфологии  $\lambda$ . При  $\lambda \leq 0.38$  пески считаются необработанными, при  $\lambda > 0.38$  – обработанными.

2.3.7 Содержание легкорастворимых солей и органических остатков, даже в незначительном количестве (в пределах 2-3%), снижает динамическую устойчивость грунтов, например, песчаных в 1.5-2 раза.

Диапазон возможного изменения  $\alpha_{кр.}$  песков в зависимости от ряда внутренних факторов приводится в таблице 2.3.1.

### Диапазон возможного изменения критического ускорения песков в зависимости от внутренних факторов

Таблица 2.3.1

Фактор	Вид песчаного грунта по крупности (РСТ Уз 25100-95)	Показатель неоднородности, $P_m$	Диапазон возможн. изменения критич. Ускорения $\alpha_{кр} \pm \Delta d_i$ , мм/с <sup>2</sup> , в зависимости от <b>i-го</b> фактора при относительной плотности песка $I_d$	
			$I_d = 0.33$	$I_d = 0.66$
1	2	3	4	5
Неоднородность, $P_m$	<u>Средней крупности</u>			
	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$150 \pm 50$	$350 \pm 100$
	<u>Крупный</u>			
	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$270 \pm 50$	$470 \pm 100$
Гравелистый	а) однородный	$P_m < 4$	0.0	0.0
	б) неоднородный	$P_m > 8$	$550 \pm 50$	$800 \pm 100$
	в) исключительно неоднородный	$P_m > 40$	$850 \pm 100$	$2500 \pm 150$
	Морфология	<u>Пылеватый</u>		

$\lambda$ (для песков одинаковой крупности, однородности и вещественного состава)	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$100 \pm 25$	$200 \pm 50$
	в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$100 \pm 50$	$400 \pm 100$
	<u>Мелкий</u>			
	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$100 \pm 25$	$300 \pm 50$
	в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$250 \pm 50$	$450 \pm 100$
	<u>Средней крупности</u>			
	а) обработанный	$0.6 \geq i > 0.4$	0.0	0.0
	б) слабообработ.	$0.4 \geq i > 0.3$	$250 \pm 25$	$300 \pm 50$
	в) необработанный	$0.3 \geq i > 0.25$	$300 \pm 50$	$700 \pm 100$
	Примечание $P_m$ – показатель максимальной неоднородности, $\ddot{I}_i = d_{50} = \frac{d_{95}}{d_5}$ $d_5, d_{50}, d_{95}$ – характерные диаметры песчаных частиц.			

2.3.8 Простейшая зависимость критического ускорения для песков в зависимости от их окатанности при отсутствии внешней пригрузки является функцией в виде

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(10 \cdot I_d^\lambda) \quad (2.3.6)$$

где  $\lambda$  - показатель, зависящий от крупности и окатанности песчаных частиц и равный от 2.5 до 3.5.

2.3.9 Критическое ускорение для песчаных грунтов с учетом ряда внешних и внутренних факторов выражается следующей зависимостью:

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(A \cdot I_d^n) \quad (2.3.7)$$

где  $p, n$  – коэффициенты, зависящие от свойств грунта и условий проведения опыта;

$E$  – коэффициент, связанный с формой (морфологией) песчаных частиц

$$E = 264.1 N^{0.83} \quad (2.3.8)$$

где  $N$  – процент содержания угловатых (неокатанных) зерен песка

тогда

$$\alpha_{\text{ед.}} = f(264.1 N^{0.83} A \cdot I_d^n) \quad (2.3.9)$$

2.3.10 В целом динамическая устойчивость песков повышается от крупности, гранулометрической неоднородности, необработанности песчаных зерен. Нагрузка повышает динамическую устойчивость любого вида грунта.

Увеличение частоты колебаний или уменьшение амплитуды, увеличение содержания солей и органики, напротив, снижает динамическую устойчивость грунтов.

Длительность воздействия в первой стадии разрушает структуру грунта, но во второй стадии приводит к значительному уплотнению и упрочнению

структурных связей грунта, требующих в дальнейшем приложения более значительных динамических нагрузок для их разрушения.

Повышение прочностных характеристик грунтов  $c$  и  $\varphi$  способствует Повышению динамической устойчивости грунтов.

2.3.11 В качестве критерия оценки изменения динамической устойчивости грунта под влиянием того или иного фактора, предлагается коэффициент изменчивости критического ускорения  $K_{\text{изм.кр}}$ .

Под  $K_{\text{изм.кр}}$  – понимается отношение абсолютных значений критических ускорений, соответствующих крайним значениям показателей крупности состава, неоднородности, морфологии (для песков) и других факторов.

$$\hat{E}_{\text{крит.}} = \frac{\alpha_{\text{макс.}}}{\alpha_{\text{мин.}}} \quad (2.3.10)$$

где  $\alpha_{\text{макс.}}$ ,  $\alpha_{\text{мин.}}$  – показатели критического ускорения одного вида грунта при максимальном и минимальном значении того или иного показателя (однородность, морфология, вещественный состав и т.п.).

В таблице 2.3.2 приводятся возможные значения коэффициента изменчивости критического ускорения песков в зависимости от того или иного фактора.

2.3.12 В лессовых грунтах при динамических воздействиях, проявляется способность грунтов к вибропросадке (в сейсмических условиях сеймопросадке), которая определяется по формуле:

$$S_c = \sum_0^H h_c \frac{e_0 - e_c}{1 + e_0} \quad (2.3.11)$$

где  $S_c$  – величина сеймопросадки;  
 $h_c$  – мощность слоя грунта, подвергаемого виброуплотнению;  
 $e_0$  – начальный коэффициент пористости до вибрации;  
 $e_c$  – тоже после вибрации.

Показателем вибропросадки (сеймопросадки) является показатель:

$$l_c = \frac{\Delta h}{h} = \frac{e_0 - e_c}{1 + e_0} \quad (2.3.12)$$

где  $\Delta h$  – величина уменьшения высоты образца после вибропросадки;  
 $h$  – первоначальная высота образца.

## Значение коэффициента изменчивости критического ускорения

Таблица 2.3.2

Фактор	Вид песчаного грунта по крупности (РСТ Уз 25100-95)	$K_{изм.кр.}$ при относительной плотности песка	
		$I_d=0.33$	$I_d=0.66$
Неоднородность, $P_m$	Пылеватый	1.3	1.3
	Мелкий	-	-
	Средней крупности	1.4	1.3
	Крупный	1.2	1.2
	Гравелистый	1.4	1.6
Морфология, $\lambda$	Пылеватый	1.40	1.30
	Мелкий	1.50	1.30
	Средней крупности	1.60	1.35
	Крупный	1.1	1.1
Сумма всех внутренних факторов ( $d_{ср}$ , $P_m$ , $\lambda$ , $P$ )	Пылеватый	1.5	1.4
	Мелкий	1.75	1.35
	Средней крупности	2.4	1.9
	Крупный	1.2	1.2
Доля морфологии в суммарном влиянии факторов, %	Пылеватый	9.2	9.2
	Мелкий	8.6	9.6
	Средней крупности	6.7	7.1
	Крупный	9.2	9.2
Химический состав, $P_3$ (содержание солей)	Средней крупности	3.0	2.7
	Гравелистый	1.6	1.40
Содержание органических веществ, $P_0$	Средней крупности	2.1	1.6
	Гравелистый	3.25	2.40

2.3.13 Под вибропросадкой (сеймопросадкой) понимается дополнительная просадка увлажненного лессового грунта при динамическом (сейсмическом) воздействии на проявленопросадочный грунт в статических условиях.

Сеймопросадка от общей просадочной деформации увлажненного просадочного грунта может в 2-3 раза превышать просадку грунта в статических условиях и достигать до 80% от общей величины деформации грунта.

2.3.14 Сеймопросадка лессового грунта также зависит от целого ряда внутренних и внешних факторов: состава, состояния и свойств лессового грунта интенсивности, параметров и длительности колебания, от общего напряженного состояния грунтовой толщи. Способствующими факторами к

проявлению сейсмопросадки являются однородность и пылеватость частиц, степень водонасыщения грунта, рыхлое сложение, пониженные прочностные показатели. Сейсмопросадка зависит так же от интенсивности, частоты, длительности колебания, общего напряженного состояния, мощности грунтовой толщи.

Сейсмопросадка начинается не сразу после приложения к грунту динамической нагрузки, а по истечению некоторого отрезка времени, необходимого для разрушения внутренних структурных связей грунта.

## **2.4 Методы оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов**

### **2.4.1 Общие положения.**

2.4.1.1 Основным условием динамической устойчивости грунтов является сопоставление сопротивляемости грунтов сдвигу в динамических  $S_{дин}$  и статических  $S_{ст}$  условиях, когда

$$S_{ст} \geq S_{дин} \geq 0 \quad (2.4.1)$$

при условии:  $S_{дин} = S_{ст}$  сопротивляемость грунтов сдвигу с переходом их в динамический режим не меняется. Это условие соответствует грунтам с повышенной плотностью скелета или относительно слабом динамическом воздействии, когда  $\alpha_{кр} \geq \alpha_{дин}$  и грунты находятся в динамически устойчивом состоянии.

2.4.1.2 При проектировании сооружений в сейсмических районах используется метод инерционных сил

$$S = \pm E P \quad (2.4.2)$$

где  $P$  – вес сооружения;

$E$  – коэффициент сотрясения

$$\dot{A} = \frac{\alpha_{max}^c}{g} \quad (2.4.3)$$

где  $\alpha_{max}^c$  – максимальное сейсмическое ускорение;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $mm/c^2$ .

2.4.1.3 Методы оценки динамической устойчивости сооружений, возводимых на водонасыщенных грунтах требуют выполнения 2<sup>х</sup> основных положений:

I – оценка степени устойчивости основания сооружения

II – оценка прочности самого сооружения, под воздействием приложенных к нему инерционных сил.

По I<sup>ому</sup> положению является выполнения основного требования обеспечения динамической устойчивости водонасыщенных грунтов – недопущение их перехода в динамически неустойчивое состояние, т.е. выполнение известного условия 2.2, когда  $\alpha_{расч} \leq \alpha_{кр}$  или при сейсмических воздействиях  $\alpha_{расч} = \alpha_c K_{зан} \leq \alpha_{кр}$ .

2.4.1.4 Методы оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов включают: лабораторный, полевой и расчетный методы.

2.4.2 Лабораторный метод – динамическая устойчивость грунтов определяется в лабораторных условиях по методу критических ускорений с использованием виброустановки (метод Н.Н.Маслова). Описание виброустановки, ее подготовка к испытанию различных видов грунтов (связных и несвязных), методика проведения испытаний и обработка результатов испытаний регламентируется «Методическими указаниями по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях», разработанной ЗПЛИТИ и утвержденных Госархитектстроем за №13 от 6.03.2000г.

2.4.3 Полевой метод отличается от лабораторного только в масштабности применяемого оборудования и в возможности испытания значительно большего объема грунта.

Имеются и другие методы испытания:

- метод консолидации грунтов (Н.Н.Маслов, П.Л.Иванов)
- полевой метод взрывного зондирования (В.А.Афанасьев, П.Л.Иванов)

2.4.4 Расчетный метод.

2.4.4.1 Для предварительной оценки динамической устойчивости водонасыщенных грунтов используется расчетный метод. Для общего случая, когда грунт обладает, помимо трения между частицами и некоторыми силами сцепления (для связанных грунтов) и пригружен сверху нагрузкой, равной весу сооружения и собственному весу грунта, формула для определения критического ускорения имеет вид:

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 g (P_n \operatorname{tg} \varphi_w + C_w)}{\gamma_w H} \quad (2.4.4)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, мм/с<sup>2</sup>;

$P_n$  – нагрузка от собственного веса грунта и веса сооружения;

$\operatorname{tg} \varphi_w$  – тангенс угла внутреннего трения грунта;

$H$  – мощность слоя.

2.4.4.2 Для песчаных грунтов в рыхлом состоянии, когда  $C_w = 0$ , формула имеет вид:

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 g P_n \operatorname{tg} \varphi_w}{\gamma_w H} \quad (2.4.5)$$

или рассматривая  $P_n = \gamma_w + P_n(\gamma_w z$  – собственный вес грунта;  $P_n$  – вес сооружения) для случая  $P_n=0$  и  $C_w=0$

$$\alpha_{\text{эд}} = \frac{1.57 \cdot g \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi}{H} \quad (2.4.6)$$

2.4.4.3 Процесс виброуплотнения грунта характеризуется также коэффициентом динамического уплотнения, характеризующим скорость уплотнения грунтов  $v_n$ :

$$v_n = \frac{\Delta n}{\Delta t}, 1/c \quad (2.4.7)$$

где  $\Delta n$  – изменение пористости грунта в долях единицы;

$\Delta t$  – отрезок времени, с.

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации, см/с.

И модулем динамического уплотнения,  $A_n$ ; 1/см

$$A_n = \frac{1}{\Delta n} \quad \text{или} \quad A_n = \frac{\Delta n}{K_\phi} \quad (2.4.8).$$

2.4.4.4 Добавление различных компонентов в состав исследуемого грунта позволяет установить зависимость критического ускорения от различных внутренних факторов, характеризующих свойства, строение и вещественный состав грунта (наличие органических веществ, солей и т.п.). Создание внешней пригрузки и изменение параметров динамического воздействия позволяет установить зависимость критического ускорения от внешних факторов.

2.4.4.5 Для песчаных грунтов на величину критического ускорения существенное влияние оказывает крупность и морфология их зерен (т.е. форма и характер их поверхности).

С учетом крупности и морфологии песчаных зерен формула (2.4.5) приобретает вид:

$$\alpha_{\text{эд.}} = \frac{1.57g}{H} (P_n \text{tg} \varphi + \text{tg} \varphi \sqrt{\frac{2P_n d_{\text{п.д.}}}{E_\delta - \lambda}} \quad (2.4.9)$$

где  $d_{\text{cp}}$  – средний диаметр частиц песка, мм;

$\lambda$  - показатель морфологии;

$E_y$  – модуль упругости.

2.4.4.6 Ориентировочные значения критических ускорений колебания для песчаных грунтов характеризуются данными таблицы 2.4.1.

## Значения критических ускорений для песчаных грунтов

Таблица 2.4.1

Вид песка по крупности	Вид песка по морфологии зерен	Критическое ускорение при относит. плотности песков, мм/с <sup>2</sup>	
		I <sub>d</sub> ≤ 0.33	I <sub>d</sub> ≤ 0.66
1	2	3	4
Пылеватый	Необработанный $\lambda < 0.38$	500-600	1200-1500
	Обработанный $\lambda > 0.38$	400-500	1000-1100
Мелкий	Необработанный $\lambda < 0.38$	500-700	1400-1600
	Обработанный $\lambda > 0.38$	400-600	1100-1200
Средней крупности	Необработанный $\lambda < 0.38$	700-900	1700-2100
	Обработанный $\lambda > 0.38$	600-800	1200-1700
Крупный	Необработанный $\lambda < 0.38$	900-1100	2100-2300
	Обработанный $\lambda > 0.38$	700-900	1700-2000
Гравелистый	Необработанный $\lambda < 0.38$	1300	3100
	Обработанный $\lambda > 0.38$	1100	2300-2500

Примечания: 1. Меньшие значения критических ускорений соответствуют однородным пескам, большие – неоднородным;  
 2.  $\lambda$  - показатель морфологии песка, определяемый экспресс методом, разработанным А.Д.Потаповым.

2.4.4.7 Ориентировочные значения критических ускорений лессовых грунтов характеризуются данными таблицы 2.4.2.

## Значение критического ускорения лессовых грунтов

Таблица 2.4.2

Вид грунта	Средняя мощность Н, м	Угол внутреннего трения, град.	Общее сцепление, КПа	Критическое ускорение, мм/с <sup>2</sup>
Лессовидные супеси	4.5	27°	6.5	1380
Лессовидные суглинки	2.0	24°	14.0	925
Лессовидные суглинки	18.0	26°	17.9	400
Лессовидные суглинки и супеси	14.0	27°	20.7	610

Примечание: Данные о критическом ускорении соответствуют природным грунтовым условиям без учета давления от веса сооружения.

## **2.5 Мероприятия по обеспечению динамической устойчивости водонасыщенных грунтов.**

### **2.5.1 Общие положения.**

2.5.1.1 Все виды мероприятий при обеспечении динамической устойчивости водонасыщенных грунтов сводятся к двум основным:

- а) предотвращающие возможность возникновения явлений разжижения;
- б) уменьшающие вредные последствия явлений разжижения.

Сущность всех этих мероприятий сводится к повышению значения критического ускорения с целью обеспечения известного условия, когда  $\alpha_{кр.} \geq \alpha_{(с)}$  или  $\alpha_{расч.}$ . Обеспечение этого требования достигается путем улучшения прочностных характеристик грунта, а так же увеличения величины нормального напряжения.

2.5.1.2 К мероприятиям, направленным на повышение прочностных характеристик грунтов основания относятся:

- механическое уплотнение грунтов в пределах всей толщи слабого грунта;
- химическое закрепление грунтов;
- термическая обработка;
- отвод грунтовых вод (дренаж);
- уплотнение грунтовой толщи взрывом, вибрацией и т.п.;
- уменьшение слабого слоя или прорезка его сваями.

2.5.1.3 Для песчаных грунтов статическое уплотнение довольно трудоемкий процесс и не всегда удается достигнуть необходимой его плотности сложения. В таких условиях целесообразно использовать пригрузку. Большое значение для повышения критического ускорения в песчаных грунтах имеет их гранулометрический состав, неоднородность и морфология. Более крупные, неоднородные и необработанные пески имеют большие значения критических ускорений по отношению к мелким, однородным и обработанным.

2.5.1.4 При оценке динамической устойчивости песчаных грунтов требуется дифференцированный подход к их гранулометрическому и вещественному составу с учетом морфологии зерен.

При подборе песков, используемых в качестве материала земляных сооружений или оснований, при возможном динамическом воздействии, предпочтение следует отдавать пескам крупным, неоднородным и необработанным.

Для земляных сооружений, воздвигаемых из песков, возможен искусственный их подбор, путем добавки в чистые пески (мелкие, однородные, обработанные) более крупных, разнородных и необработанных их разновидностей.

### **2.5.2 Мероприятия по обеспечению устойчивости оснований.**

К мероприятиям по обеспечению динамической устойчивости оснований сооружений относятся

- ослабление интенсивности динамического воздействия;
- увеличение заглубления сооружения;
- пригрузка боковых граничных зон;

- сокращение мощности слабых грунтов;
- использование свайных фундаментов;
- использование ограждений;
- уплотнение грунта;
- дренаж.

### 2.5.3 Мероприятия по обеспечению устойчивости откосов земляных сооружений.

К данным мероприятиям относятся:

- уплотнение грунтовых масс;
- подбор материала и уположение откоса;
- пригрузка откоса;
- развитие профиля сооружения;
- применение дренажа;
- конструктивные мероприятия, применение в сооружении ядер, диафрагм, экранов и т.п.

Применение в сооружении более грубого материала повышает их устойчивость.

Степень динамической устойчивости откоса может быть повышена за счет его уположения и повышения коэффициента запаса

$$\eta = \frac{tg \varphi}{tg \alpha} \geq 1 \quad (2.5.1)$$

где  $tg \varphi$  - тангенс угла внутреннего трения

$tg \alpha$  - тангенс угла естественного откоса.

## **2.6 Метод сейсмоустойчивого основания**

2.6.1 Для сейсмических районов при определении устойчивости грунта основания рекомендуется метод сейсмоустойчивого основания. Сущность метода сейсмоустойчивого основания заключается в приращении бальности строительной площадки по значению коэффициента сейсмической устойчивости  $K_{уст}$  в виде:

$$\hat{E}_{\delta \bar{n} \delta} = \frac{\alpha_{\delta \delta}}{\alpha_{\bar{n}}} \quad (2.5.1)$$

где  $\alpha_c$  – максимальное сейсмическое ускорение, соответствующее

бальности по карте сейсмического районирования территории РУз.

2.6.2 Условием соответствия бальности данной территории к бальности, установленной к данному району, является  $K_{уст} = 1.0$ . Коэффициент сейсмической устойчивости  $K_{уст}$  используется в расчетах в качестве поправочного коэффициента, учитывающего грунтовые условия в виде:

$$\hat{E}_{\bar{n}}^{\delta} = \frac{1}{\hat{E}_{\delta \bar{n} \delta}} \hat{E}_{\bar{n}} \quad (2.5.2)$$

где  $\hat{E}_{\bar{n}}^{\delta}$  - расчетное значение коэффициента сейсмичности;

$K_c$  – коэффициент сейсмичности, соответствующий бальности района.

2.6.3 Мероприятия, направленные на снижение сейсмичности строительной площадки обуславливаются мероприятиями повышающими критическое ускорение колебания грунтов основания. Снижение расчетного ускорения колебания приводит к уменьшению мощности активной зоны, что также обуславливает снижение сейсмичности площадок.

2.6.4 При достижении основного условия динамической устойчивости, когда  $\alpha_{расч} \leq \alpha_{пр}$  по всей толще грунта в основании или теле земляного сооружения, вопрос динамической устойчивости следует считать как не имеющий интереса.

При условии  $\alpha_{расч} \geq \alpha_{пр}$  возникает необходимость обеспечения устойчивости основания или сооружения и принятия тех или иных защитных мероприятий.

## **2.7 Основные положения по проектированию на водонасыщенных грунтах с учетом их динамической устойчивости в сейсмических условиях.**

2.7.1. Для естественных оснований зданий и сооружений динамическая устойчивость водонасыщенных грунтов при сейсмических воздействиях не имеет принципиального значения: во-первых, в сейсмических районах сейсмические воздействия имели и имеют постоянный исторический цикл и грунты уже приобрели соответствующую динамическую устойчивость; во-вторых, положительную роль на устойчивость грунтов имеет вес здания или сооружения, играя роль пригрузки.

2.7.2. Динамические воздействия от машин и механизмов с динамическими нагрузками учитываются КМК2.02.05-98 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками». В связи с чем более целесообразно рассмотреть особенности проектирования земляных сооружений с учетом их динамического режима.

2.7.3. Ниже даются некоторые рекомендации по проектированию сооружений при сейсмическом (динамическом) на них воздействии.

- Деформационные и прочностные свойства глинистых и песчаных грунтов могут существенно меняться при динамических воздействиях. В условиях водонасыщения, приложение к таким грунтам динамического воздействия любого вида (в т.ч. сейсмического) определенной интенсивности, способно нарушить структуру грунта с потерей его динамической устойчивости и привести к таким неблагоприятным явлениям как: плавунность, разжижение, вибропросадочность.

- Оценке динамической устойчивости подлежат прежде всего затопленные откосы земляных гидротехнических сооружений, выполненные средством намыва без принятия особых мер по их уплотнению, возводимых из пылевато-глинистых (мелкодисперсных) или песчаных грунтов.

Примечание. Настоящие требования не распространяются на земляные сооружения, выполняемые сухим способом с соответствующим уплотнением грунта, за исключением особо ответственных случаев.

- Анализ на динамическую устойчивость сооружений выполняется в дополнении к обычно проводимым расчетам по оценке статической прочности и устойчивости сооружений в соответствии с требованиями КМК2.02.02-98 «Основания гидротехнических сооружений», и с учетом дополнений и изменений, уточняющие требования и испытаниям песчано-глинистых грунтов на разжижение при динамических воздействиях, механической и химической суффозии с учетом закона РУз «О безопасности ГТС» и КМК2.06.04-97 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения».

- Степень устойчивости грунтовых сооружений возводимых в сейсмических районах или испытывающих воздействие в виде колебаний от тех или иных источников, подлежит установлению применительно к интенсивности возможного сейсмического воздействия или динамического режима сооружения для каждого конкретного случая.

- Интенсивность и характер динамического режима определяется ускорением колебания,  $\alpha$ , мм/с<sup>2</sup>, амплитудой колебания  $A$  или частотой  $f$  и длительностью колебания  $t$ . При этом, принимаются их значения по верхнему пределу.

- Обеспечение динамической устойчивости земляных сооружений определяется соблюдением требования, чтобы ни в одной части сооружения расчетная величина, воздействующего на сооружение ускорения колебания  $\alpha_{расч}$  не превышала критического значения колебания  $\alpha_{кр}$ , присущего каждому виду грунта, используемого в сооружении.

Таким образом, основным требованием обеспечения динамической устойчивости затопленных откосов земляных сооружений или оснований является соблюдение известного условия:

$$\alpha_d (\alpha_{расч}) = \alpha_c \times k_{зап} \leq \alpha_{кр} \quad (2.7.1)$$

- Сейсмическое ускорение  $\alpha_c$  мм/с<sup>2</sup> является независимой величиной и соответствует той или иной интенсивности землетрясения в баллах.

Действующее ускорение колебания  $\alpha_d$ , мм/с<sup>2</sup> соответствует конкретному источнику, создающим колебательные движения.

- Критическое ускорение колебания  $\alpha_{кр}$  мм/с<sup>2</sup> такое ускорение колебания частиц грунта при превышении которого интенсивность связанного с ним силового воздействия нарушает структуру грунта – водонасыщенный грунт переходит в динамически возбужденное состояние, что приводит к потере устойчивости масс грунта, его значительному доуплотнению, вплоть до разжижения.

- Критическое ускорение определяется опытным (лабораторным или полевым) путем или расчетом (для предварительной оценки) и регламентируется «Методическими указаниями» разработанными Научно-исследовательским, проектно-технологическим институтом оснований,

фундаментов и подземных сооружений им. К.М.Джумаева (ЗПЛИТИ) и утвержденного Госархитектстроем, приказ № 13 от 6.03.2002 г.

- Увеличение величины критического ускорения и соответственно обеспечение динамической устойчивости земляных сооружений и обеспечение известного условия, достигается путем уплотнения грунтов, подбора для возведения сооружения грунтов с повышенными динамическими характеристиками. Положительную роль играет пригрузка откосов земляного сооружения.

- Проект сооружения составляется с полным учетом динамических свойств грунтов, намеченных к использованию. Важной частью при подборе грунтов, намеченных к использованию для возведения проектируемого сооружения является оценка их динамической устойчивости.

- Критерием визуальной оценки пониженной динамической устойчивости, например, песков являются:

мелкозернистость и пылеватость;

однородность;

окатанность зерн.

Более крупные, разнородные с неокатанной формой зерен пески имеют повышенные динамические характеристики:

наличие органических остатков или легкорастворимых солей снижает динамические характеристики грунтов, а также значения прочностных свойств грунтов.

Засоленные грунты, содержащие в своем составе легкорастворимые соли более 2% по весу не должны допускаться к использованию.

Возможность выноса фильтрующей водой легкорастворимых компонентов из состава грунтов резко снижает их динамическую (сейсмическую) устойчивость.

- Грунты, используемые в теле земляных сооружений должны иметь соответствующую плотность укладки и обеспеченную неизменяемость на период эксплуатации в сторону её уменьшения. Уменьшение плотности на 1.5-2.0% вызывает резкое снижение динамической устойчивости грунтов.

- Величина критического ускорения  $\alpha_{кр}$ , используемая для оценки динамической устойчивости затопленной части земляного сооружения и в необходимых случаях других динамических характеристик, как-то коэффициента  $\nu_n$  и модуля  $A_n$  – динамического уплотнения, устанавливаются в каждом конкретном случае применительно к грунтам намечаемых к использованию с заданной их плотностью, соответствующей ожидаемой, а также с учетом конструктивных особенностей и размеров сооружения (для учета влияния собственного веса грунтовой массы) и его динамического режима.

- Плотность грунта при намыве земляного сооружения должна задаваться проектом с соответствующим контролем за качеством выполняемых работ по опытному намыву в лаборатории или в полевых условиях. Назначение плотности намыва по аналогии с другими объекту допускается лишь на начальных стадиях проектирования до выполнения работ по опытному намыву, с учетом состава и состояния грунтов и их структурных особенностей.

- Учитывая зависимость критического ускорения  $\alpha_{кр}$  от величины пригрузки  $P_0$  и в частности от веса защитного перекрывающего откос слоя, расчетные значения  $\alpha_{кр}$  используемые для сейсмической устойчивости тех или иных частей сооружения должны отвечать условиям работы грунта применительно к воспринимаемой сооружением нагрузке.

- Решающим этапом проектирования является установление необходимости принятия тех или иных “защитных” мероприятий с целью повышения и обеспечения динамической устойчивости проектируемого сооружения.

- Основой решения этих задач является сопоставление значений расчётного ( $\alpha_{расч}$ ) и критического ( $\alpha_{кр}$ ) ускорений в всех частях сооружения с целью соблюдения известного условия (4.7.1).

- Сопоставление  $\alpha_{расч}$  и  $\alpha_{кр}$  выполняется как при проектировании сооружений, так и при его возведении, по данным геотехнического контроля. Данные геотехнического контроля при сопоставлении ускорений позволяют, при необходимости, ввести в проект сооружения уже в процессе его осуществления те или иные изменения, отвечающие реальным условиям возведения сооружения с целью обеспечения его динамической устойчивости. Указанное сопоставление может быть выполнено через один из показателей плотности сложения грунта, например, через пористость  $n$  по сопоставлению с фактической пористостью.  $n_{факт}$  с расчётной  $n_{расч}$ , обеспечивающей необходимое расчётное значение критического ускорения  $\alpha_{кр}$  с целью соблюдения основного условия (4.7.1).

- При соблюдении основного условия обеспечения динамической устойчивости сооружения, когда  $\alpha_{расч(d)} \leq \alpha_{кр}$ , сейсмическая устойчивость сооружения применительно к заданному динамическому режиму считается обеспеченной и сооружение не требует, каких бы-то ни было, мероприятий по повышению его устойчивости, а также с соблюдением условий (2.7.2), связанного с условием (2.7.1)

$$n_{факт} \leq n_{расч} \quad (2.7.2)$$

$$\text{или } \rho_{d \text{ факт}} \leq \rho_{d \text{ расч}}$$

- При несоблюдении указанных условий сооружение считается с динамической стороны недостаточно устойчивым и требующим своего усиления или принятия соответствующих мероприятий по обеспечению динамической устойчивости.

- В целях усиления устойчивости сооружения, прежде всего рассматривается вопрос о замене грунтов используемых для возведения сооружений грунтами с более повышенными динамическими характеристиками из других карьеров.

- При невозможности использования для возведения сооружения грунтов с повышенными динамическими характеристиками рассматривается возможность применения пригрузки откоса тем или иным материалом (камень, галька, щебень и т. п.).

Необходимая толщина такого покрытия определяется исходя из требуемой величины пригрузки  $P_0$ , обеспечивающей соблюдение основного условия (2.7.1).

Весьма положительным является уплотнение используемых грунтов. В принципе уплотнением всегда можно добиться соблюдения известного условия (2.7.1).

- Использование того или иного мероприятия по обеспечению динамической устойчивости сооружения окончательно оценивается технико-экономическим расчётом.

- При возведении земляного сооружения все проектные требования по использованию и раскладке в теле сооружения тех или иных грунтов, а также конструктивные мероприятия должны подлежать безусловному и качественному выполнению.

## РАЗДЕЛ 3. НАСЫПНЫЕ (ТЕХНОГЕННЫЕ) ГРУНТЫ

### 3.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**3.1.1.** Насыпные грунты – грунты с нарушенной структурой, образование которых связано с отвалами, отсыпками строительных котлованов, намыва грунтов, вскрышных работ при открытой разработке полезных ископаемых, а также отвалы отходов производства, свалки бытовых отходов, или планомерно возведенные насыпи с уплотнением и без уплотнения.

Насыпные грунты характеризуются деформируемостью и низкой несущей способностью в основании зданий и сооружений в зависимости от степени однородности их сложения, способа и давности образования, а также состава грунтов и отходов.

**3.1.2.** Основания и фундаменты зданий и сооружений, возводимые на насыпных грунтах, проектируются на основе материалов инженерно-геологических исследований строительной площадки, руководствуясь требованиями КМК1.02.07-97 «Инженерные изыскания в строительстве», КМК2.02-01-98 «Основания зданий и сооружений», а так же требованиями настоящих «Рекомендаций...».

**3.1.3.** При проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений на территории Республики Узбекистан в районах распространения просадочных и набухающих грунтов, водонасыщенных песчаных и мелкодисперсных, в районах высокой сейсмичности и на подрабатываемых территориях должны учитываться дополнительные требования к строящимся зданиям и сооружениям в указанных условиях.

**3.1.4.** Проектирование оснований и фундаментов на насыпных грунтах производится исходя из предельной величины средней осадки и предельно допустимой неравномерности (разности) осадок так же, как и для обычных грунтов естественного сложения, согласно требованиям главы 2 КМК 2.02.01-98.

**3.1.5.** Техничко-экономическая целесообразность использования насыпных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений определяется исходя из величины модулей деформации грунтов основания и их изменчивости, полученных при инженерно-геологических исследованиях грунтов строительной площадки. На основании исследований устанавливаются методы инженерной подготовки основания, тип фундаментов и соответствующие конструктивные мероприятия.

**3.1.6.** В необходимых случаях в проектах зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах, должны быть предусмотрены наблюдения за осадками зданий и сооружений с устройством реперов, марок и т.п.

Затраты на организацию наблюдений, оборудования реперов, марок и других устройств и на проведение наблюдений в процессе строительства включаются в сметную стоимость строительства.

## 3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ

**3.2.1.** По РСТ Уз (ГОСТ) 25100-95 Насыпные грунты относятся к классу техногенных дисперсных связных или несвязных антропогенных образований насыпного или намывного происхождения. Среди них выделяются отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, представленные бытовыми или промышленными отходами в виде строительного мусора, шлаков, шламов, золы, шлакоотходов и т.п.

**3.2.2.** Насыпные грунты, используемые в качестве основания зданий и сооружений именуется согласно номенклатуре, установленной КМК2.02.01-98 (таблица 5, приложение 3), с дополнительным указанием видов грунтов в зависимости от:

- однородности состава и сложения;
- способа отсыпки или образования напластования;
- вида исходного материала;
- давности отсыпки.

**3.2.3.** По однородности состава и плотности сложения, насыпные грунты классифицируются как:

- планомерно возведенные насыпи (п.3.2.4.);
- отвалы грунтов и отходов производства (п.3.2.5);
- свалки грунтов и отходов производства и бытовых отбросов (п.3.2.6).

Планомерно возведенные насыпи – насыпи, возведенные по проекту из однородных естественных грунтов путем отсыпки или гидромеханизации, при планировке территории с целью использования её под застройку, с уплотнением грунтов до заданной по проекту плотности (плотности скелета грунта).

Отвалы грунтов и отходов производства – представляют собой отсыпки различных видов грунтов при разработке строительных котлованов, срезки больших площадей при планировочных работах и т.п. или отходов различных производств: шлаков, золы, формовочной земли, отходов обогатительных фабрик и т.п. при содержании в них растительных остатков не более 5%.

Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отбросов, представляют собой отсыпки, образуемые в результате неорганизованного накопления различных материалов, хаотично перемешанных между собой и с содержанием органических включений более 5%.

**3.2.4.** Планомерно возведенные насыпи обычно возводятся с уплотнением и по способу их образования подразделяются на:

- насыпные, отсыпаемые из грунта автомобильным и другим транспортом (скреперами, бульдозерами), с одновременным их уплотнением различными механизмами, включая непосредственное уплотнение при отсыпке движущимся транспортом, либо как отдельная операция после выполнения отсыпки;
- намывные, образуемые с помощью гидромеханизации.

**3.2.5.** Отвалы грунтов и отходов производства по способу их образования подразделяются на:

- отложенные гидромеханизацией (хвосты обогатительных фабрик и химических производств);
- гидрозолоудаление (шлаконакопители);
- отсыпанные по откосу сразу на всю высоту;
- отходы производств, отсыпанные слоями;
- беспорядочную (неорганизованную) отсыпку.

Отвалы производятся как с уплотнением, так и без уплотнения. С уплотнением обычно возводятся отвалы грунтов при возведении гидромеханизацией или при отсыпке слоями и практически мало отличаются по своим свойствам от планомерно возведенных насыпей.

Отвалы отсыпанные по откосу сразу на всю высоту и беспорядочная отсыпка обычно выполняются без уплотнения и характеризуются разнородностью по составу и степени уплотнения.

**3.2.6.** Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отходов по способу их образования подразделяются на:

- отсыпанные по откосу сразу на всю высоту;
- отсыпанные слоями;
- беспорядочную (неорганизованную) отсыпку.

Эти группы свалок, также могут возводиться с уплотнением или без уплотнения и отличаются теми же особенностями, что и отвалы, отсыпанные идентичным образом, но имеют более разнородный состав и сложение по отношению к отвалам.

**3.2.7.** По давности отсыпки или образования насыпные грунты подразделяются на:

- слежавшиеся, в которых процесс уплотнения от собственного веса закончился или стабилизировался;
- неслежавшаяся, в которых процесс уплотнения от собственного веса не закончился (не стабилизировался).

В таблице 3.2.1. приведены ориентировочные периоды времени самоуплотнения грунтов от собственного веса для различных видов насыпных грунтов. По истечении времени, указанного в таблице, насыпные грунты и отходы производства относятся к слежавшимся.

Ориентировочные периоды времени самоуплотнения насыпных грунтов

Таблица 3.2.1

Гранулометрический состав насыпных грунтов и отходов производства	Продолжительность самоуплотнения, год		
	планомерно возведенных насыпей	отвалов	свалок
Крупноблочные	0.2-1	1-3	2-5
Песчаные	0.5-1	2-5	5-10
Пылевато-глинистые	2-5	10-15	10-30

### 3.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

**3.3.1.** Исследования насыпных грунтов производятся по специально разработанной программе, предусматривающей получение исходных данных, необходимых для проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений на выбранном участке строительства с учетом вида насыпных грунтов, давности и способа их отсыпки или образования, местных условий строительства и схем конструкций проектируемых зданий и сооружений.

**3.3.2.** В состав работ по инженерно-геологическим исследованиям входят:

- изучение топографических планов с естественным рельефом до образования насыпи, отчетов, содержащих материалы о состоянии ранее возведенных на насыпных грунтах зданий и сооружений, и других материалов по инженерно-геологическим исследованиям, а также по исследованиям физико-механических свойств грунтов, производившихся в пределах района предполагаемого строительства;

- изучение архивных материалов об условиях и времени образования насыпных грунтов на исследуемой площадке;

- инженерно-геологическая съемка территории;

- разведка грунтов бурением, шурфованием и зондированием;

- полевые и лабораторные исследования физико-механических характеристик насыпных и естественных грунтов, слагающих участок застройки;

- составление отчета по проведенным исследованиям грунтов.

**3.3.3.** Инженерно-геологические исследования площадок, сложенных насыпными грунтами, производятся шурфованием и бурением диаметром не менее 127мм, зондированием, а так же испытанием штампами.

Расстояние между разведочными выработками назначаются в зависимости от вида насыпных грунтов, способа их отсыпки с учетом размеров зданий и сооружений в плане.

В зависимости от способа отсыпки расстояния между выработками (скважинами, шурфами) назначаются для:

насыпей, планомерно возведенных	как для обычных грунтов
отвалов и свалок, отсыпанных слоями	естественного сложения
отвалов и свалок, отсыпанных по откосу на	до 40м
всю высоту	«24»
отвалов и свалок, отсыпанных не организовано	«12»

Количество выработок на отдельном участке должно быть не менее 6, а в пределах каждого капитального здания или сооружения – не менее 3.

**3.3.4.** Глубина проходки всех выработок назначается из расчета выявления всей толщины слоя насыпных грунтов с заглублением в подстилающий слой грунтов естественного сложения в пределах сжимаемой толщи грунтов основания, но не менее 5м.

**3.3.5.** Уточнение состава насыпных грунтов, а также отходов различных производств и бытовых отходов в пределах всей насыпи производится, как правило, по данным проходки шурфов или открытия котлована с помощью механизмов.

Бурение применимо лишь для выявления общего характера напластования грунтов, слагающих площадку строительства, установления глубины их залегания и уровня грунтовых вод в пределах застраиваемого участка.

**3.3.6.** Количество шурфов назначается в зависимости от состава и вида насыпи и размеров зданий или сооружений в плане и принимается равным 1/3 общего количества выработок, но не менее двух шурфов в пределах каждого здания или сооружения.

В полевом журнале шурфования необходимо зарисовывать все стенки шурфов на всю их глубину с описанием основной массы грунтов и материалов, составляющих насыпь, и включений, содержащихся в пределах каждого слоя.

**3.3.7.** Отвалы грунтов из разнородных материалов, а также свалки грунтов (наряду с проходкой шурфов и скважин) должны подвергаться исследованию зондированием (по РСТУз 739-96; РСТУз 740-96).

Зондирование производится с целью установления изменения относительной плотности насыпного грунта по глубине в пределах всей его толщи, а также для выявления места залегания крупных недеформируемых включений, обуславливающих неравномерную сжимаемость грунтов основания. Количество пунктов зондирования назначается по усмотрению проектной и изыскательской организации, но не реже чем под каждый отдельно стоящий фундамент или расстоянию не более 6м при ленточных фундаментах.

**3.3.8.** Отбор проб для лабораторных исследований на площадках, сложенных насыпными грунтами с основным составом из глинистых и песчаных разновидностей грунтов, производится из технических выработок (шурфов или скважин), начиная с отметки заложения фундаментов через 0,5-1м по глубине. При этом должно быть обеспечено исследование состава и свойств грунта каждого прослойка. Отбор проб производится в соответствии требований РСТУз 682-96.

**3.3.9.** Сжимаемость всех видов насыпных грунтов следует определять испытаниями в шурфах штампом размером не менее 0,7×0,7м статистическими нагрузками по методике, установленной ГОСТ 20276-85 «Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости».

Кроме того, по усмотрению проектной и изыскательской организаций, целесообразно производить глубинные испытания отдельных разновидностей насыпных скважин в скважинах штампом площадью 600см<sup>2</sup>, охватывая основные разновидности встречающихся в пределах всей толщи насыпных грунтов.

**3.3.10.** Испытания статическими нагрузками производятся в пределах расположения проектируемого сооружения и в непосредственной близости к техническим выработкам.

Если толщина исследуемого вида насыпного грунта меньше расчетной сжимаемой толщи основания, а ниже располагаются насыпные грунты иного состава, способа и давности отсыпки, то испытанию подвергается каждый слой, включая и естественный грунт, залегающий в пределах сжимаемой толщи под проектируемым зданием или сооружением.

Толщина исследуемого слоя каждого вида насыпного грунта под штампом должна быть не менее полуторной ширины подошвы штампа.

**3.3.11.** Количество пунктов испытания грунтов оснований штампами назначается в зависимости от однородности сложения, состава и давности отсыпки насыпных грунтов и принимается по табл.3.3.1.

Таблица 3.3.1

Насыпи	Количество пунктов испытаний грунтов, имеющих сложение	
	однородное	неоднородное
Отвалы	2	3-4
Свалки	3	5

**3.3.12.** Лабораторные исследования насыпных грунтов однородного состава, не содержащих крупных включений, производятся на образцах, отобранных без нарушения структуры.

Исходя из состава, условий образования насыпи, отсыпки, целевого назначения, давности проводимых исследований, комплекс необходимых лабораторных исследований для различных групп и видов насыпных грунтов устанавливается в каждом отдельном случае.

В общем в случае в состав лабораторных исследований насыпных грунтов должны включаться определение плотности скелета и плотности в естественном сложении, влажности, содержания растительных остатков и степени их разложения, гранулометрического состава для песчаных грунтов, переделов пластичности при содержании в них глинистых частиц и относительной просадочности, в соответствии с требованиями соответствующих Республиканских стандартов (РСТУз).

Примечание. Для планомерно возведенных насыпей лабораторные и полевые исследования производятся в том же, комплексе, как и для грунтов естественного сложения.

**3.3.13.** В инженерно-геологическом отчете, составляемом в соответствии с требованиями нормативных документов на инженерные изыскания в строительстве, должен содержаться дополнительный специальный раздел с подробным описанием результатов исследования насыпных грунтов.

Состав насыпных грунтов определяется по материалам визуальной оценки и результатов лабораторных исследований. Последовательность описания включений различных материалов в насыпном грунте устанавливается в зависимости от количественного их содержания в основном составе насыпи.

Состав насыпных грунтов должен иллюстрироваться зарисовками на геологическом разрезе с геотехническими характеристиками. На этом разрезе наносятся результаты зондирования, модули деформации грунтов (по

результатам статических испытаний штампом), а также результаты лабораторных определений с указанием процентного содержания растительных остатков.

### **3.4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ. ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ОСНОВАНИЯ**

**3.4.1.** Проектирование оснований и фундаментов на насыпных грунтах включает в себя: инженерную подготовку основания, определение глубины заложения фундаментов, расчет оснований и конструктивные мероприятия.

**3.4.2.** При расчетных деформациях основания, сложенного насыпными грунтами больше предельных или недостаточной несущей способности, предусматриваются следующие мероприятия:

- поверхностное уплотнение оснований тяжелыми трамбовками, вибрационными машинами, катками;
- глубинное уплотнение грунтовыми сваями, гидровиброуплотнение;
- устройство грунтовых подушек (песчаных, щебеночных, гравийных и т.п.);
- прорезка насыпных грунтов глубокими фундаментами;
- конструктивные мероприятия.

Перечисленные выше мероприятия за исключением конструктивных составляют инженерную подготовку основания.

**3.4.3.** Отдельные мероприятия или их сочетание выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов, с учетом однородности состава и сложения насыпных грунтов, величины и равномерности их сжимаемости, содержания органических включений, изменения толщины слоя насыпных грунтов, в пределах контуров здания или сооружения, возможных величин осадок фундаментов, особенностей конструкции и назначения зданий или сооружений и т.п.

**3.4.4.** Инженерная подготовка основания значительно повышает равномерность сжимаемости оснований сложенных насыпными грунтами, являющаяся основным условием возможности использования насыпных грунтов в качестве основания зданий или сооружений.

**3.4.5.** В зависимости от гидрогеологических условий участка или площадки строительства применяются следующие способы инженерной подготовки:

*а) для маловлажных грунтов*

поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками до отказа с толщиной уплотненного слоя от 1,5 до 2,5м;

замена всего или части слоя насыпного грунта песком или местным суглинком с послойным уплотнением (т.е. устройство грунтовых подушек);

глубинное уплотнение грунтовыми сваями с помощью станков ударно-канатного бурения только для насыпных грунтов, держащих вертикальные откосы;

*б) для водонасыщенных грунтов*

замена всего или части слоя насыпного грунта песчаными подушками из однородного крупнозернистого песка или мелкого гравия;

глубинное уплотнение песчаными сваями (с помощью инвентарных свай) и гидровиброуплотнение (только для рыхлых песчаных насыпей).

**3.4.6.** Поверхностное уплотнение насыпных грунтов тяжелыми трамбовками может применяться в случаях, когда насыпь представляет собой отвалы и свалки грунта или отходы производств, не содержащих крупных трудно-разбиваемых включений, за исключением свалок строительного мусора и бытовых отходов. Уплотнение производится в пределах сжимаемой зоны основания в соответствии с требованиями КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» (п.8.5), КМК 3.02.01-97 «Земляные сооружения основания и фундаменты» (разделы 4; 10) и настоящих «Рекомендаций... раздел 1 п.1.4.2).

С учетом следующих дополнительных указаний:

- уплотнение рекомендуется производить железобетонными трамбовками диаметром рабочей поверхности не менее 1,5 м и весом не менее 3,5т;

- величина отказа принимается равной понижению (трамбуемой поверхности) от 2 ударов трамбовки с высоты не менее 6м для глинистых грунтов 1-2см для песчаных грунтов 0,5-1см;

- размеры уплотняемой площади должны превышать размеры подошвы фундамента не менее чем на 0,2 диаметра трамбовки;

- глубина уплотнения назначается по результатам опытного уплотнения и зависит от массы и диаметра трамбовки, высоты сбрасывания, числа ударов, вида грунта. Приблизительно глубина уплотнения  $h_s$  определяется по формуле

$$h_s = kd, \quad (3.4.1)$$

Где  $k$  - коэффициент, принимаемый равным: для крупноблочных, щебенистых (гравелистых грунтов, песков крупных и средней крупности, шлаков  $k=2.2$ ; мелких песков, хвостов обогатительных фабрик, формовочной земли  $k=2$ ; пылеватых песков, супесей, суглинков, золошлаков  $k=1.8$ , глин и шламов  $k=1.5$ ,  $d$ -диаметр трамбовки, м;

- понижение поверхности при уплотнении тяжелыми трамбовками определяется по формуле 1.3.10 (раздел 1). Оптимальная влажность и плотность уплотненного грунта назначается проектом по данным лабораторных определений и уточняются опытным уплотнением.

**3.4.6.** Виброуплотнение и катки применяются при уплотнении на глубину до 1.5м и для уплотнения отдельных слоев при возведении насыпей из грунтов и отходов производств, при степени влажности  $S_2 \leq 0.7$ .

Гидровиброуплотнение применяется для уплотнения насыпных грунтов и отходов производств (хвостов, формовочной земли, золошлаков) с содержанием по массе глинистых частей по массе не более 0.05 и степени влажности  $S_2 \leq 0.7$  в случае необходимости уплотнения на глубину до 6м.

**3.4.1.6.** В случае когда сжимается толща больше толщины слоя уплотняемого грунта (для маловлажных грунтов от 1.5 до 2.5м), поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками может быть выполнено в два слоя.

Для этого котлован отрывается на 1-1.2м ниже отметки заложения фундаментов и производится уплотнение насыпных грунтов. По окончании уплотнения котлован засыпается местным грунтом, с содержанием растительных остатков не более 3%, до отметки, превышающей на 0.1-0.25м глубину заложения фундаментов, после чего выполняется уплотнение этого второго слоя. Общая толщина уплотненного слоя насыпного грунта в этом случае достигает 3.5-4.5м.

Поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками применимо для всех видов маловлажных и влажных насыпных грунтов, при содержании растительных остатков до 10%.

**3.4.8.** Контроль плотности уплотненных насыпных грунтов, а также грунтовых подушек осуществляется лабораторными методами путем определения плотности скелета грунта (метод режущего кольца) или зондированием по сетке скважин со сторонами не превышающими 30м, но не менее чем в 5<sup>ти</sup> точках под каждым зданием или сооружением.

На участках, занимаемых засыпанными оврагами, расстояние между зондировочными скважинами устанавливается в зависимости от глубины оврага, размеров его в плане и крутизны склонов, но не реже чем через 10-15м.

**3.4.9.** Устройство грунтовых подушек предусматривается в случаях, когда поверхностное уплотнение насыпных грунтов тяжелыми трамбовками не может быть осуществлено или не обеспечивает получение необходимой толщины уплотненного слоя. Размеры подушек устанавливаются расчетом, исходя из условия уменьшения нагрузки на подстилающий грунт до допустимой величины, по условию  $P \leq R_0$  и исключения деформаций подушки под воздействием горизонтальных усилий,

где  $P$  – нагрузка от веса сооружения и подушки

$R_0$  – расчетное сопротивление подстилающего подушки грунта.

**3.4.10.** Грунтовые подушки устраиваются путем послойной отсыпки глинистых, песчаных и других видов грунта с последующим их уплотнением укаткой или трамбованием, при оптимальной влажности. При отсутствии грунтовых вод или при их низком уровне, подушки рекомендуется предусматривать из местных суглинков или химически стойких шлаков, формовочной земли и т.п. (за исключением отходов производств, содержащих крупные включения), а при наличии грунтовых вод – только из дренирующих материалов, хорошо фильтрующих воду (крупный песок, химически стойкие шлаки и др.).

**3.4.11.** Плотность подушек назначается в зависимости от вида используемых для отсыпки грунтов и отходов производств, но не менее 0.95 максимальной плотности, получаемой путем опытного уплотнения грунтов при оптимальной влажности в полевых или лабораторных условиях.

Плотность грунтов в теле подушек оценивается по плотности скелета грунта и является достаточной:

- для песков мелких, супесей и суглинков  $\rho_d \geq 1.6 \text{ г/см}^3$

- для песков крупных и средней крупности  $\rho_d \geq 1.65 \text{ г/см}^3$
- для шлаков  $\rho_d \geq 1.5 - 1.7 \text{ г/см}^3$  (в зависимости от их вида).

**3.4.12.** Для предварительных расчетов допускается принимать следующие значения модулей деформации грунтовых подушек

(таблица 3.4.1)

Вид насыпных грунтов	Модули деформации, МПа при степени влажности $S_2$	
	$\leq 0.5$	$\geq 0.8$
Крупнообломочные, щебенистые (гравелистые)	40.0	
Пески крупные, средней крупности	30.0	
Пески мелкие, хвосты обогатительных фабрик	20.0	15.0
Пески пылеватые, супеси, суглинки, глины, зоошлаки	15.0	10.0

**3.4.13.** В проекте по возведению грунтовых подушек должны быть указаны:

- толщина отсыпаемых грунтов, в зависимости от вида уплотняющих механизмов (тяжелые трамбовки, катки, движущийся груженный транспорт: скрепера, трактора, самосвалы, а также вибротрамбовки для песчаных грунтов);
- оптимальная влажность;
- количество ударов трамбовки или проходов катками, груженым транспортом и т.п.

Уплотнение и контроль качества выполненных работ должны производиться в соответствии с требованиями главы КМК3.02.01-97. П.10.13 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» и с учетом требований п.п.1.4.3 п.1.5 (раздел 1) настоящих «Рекомендаций...».

**3.4.14.** Глубинное уплотнение насыпных грунтов грунтовыми сваями, должно предусматриваться на всю толщину их слоя независимо от размера сжимаемой толщи основания, при этом следует руководствоваться требованиями по глубинному уплотнению просадочных грунтов в основании зданий и сооружений (п.1.4.7 раздел 1 настоящих «Рекомендаций...»).

Глубинное уплотнение маловлажных насыпных грунтов в пределах необходимой по расчету глубины рекомендуется предусматривать при толщине слоя более 4м (ниже отметки заложения фундаментов) и при содержании в них органических включений не более 10% со степенью влажности  $S_2 \leq 0.7$ .

Для глубинного уплотнения применяются станки ударно-канатного бурения с весом снаряда для пробивки скважин не менее 3т. Полученные скважины засыпаются местными суглинками оптимальной влажности с послойным уплотнением в скважинах тем же станком или вибрационными и виброударными установками, энергией взрывов и т.д.

Толщина буферного слоя  $h_b$  определяется по формуле

$$h_b = k_b d \quad (3.4.2)$$

где,  $k_b$  – коэффициент принимаемый равным для крупнообломочных, щебенистых (гравелистых) грунтов  $k_b=2$ ; песков и шлаков  $k_b=3$ , супесей  $k_b=4$ ; суглинков  $k_b=5$ ; глин  $k_b=6$

$d$  – диаметр грунтовой сваи (скважины) м.

Глубинное уплотнение водонасыщенных насыпных грунтов с содержанием растительных остатков не более 10% производится песчаными сваями, руководствуясь соответствующими нормативными документами.

**3.4.15. Выбор метода инженерной подготовки оснований** на насыпных грунтах производится на основе результатов инженерно-геологических исследований насыпных грунтов с учетом условий совместной работы проектируемых конструкций зданий и сооружений с грунтом основания.

Основными данными, определяющими выбор метода подготовки оснований являются:

- давность и способ отсыпки;
- вид и состав насыпного грунта и его сжимаемость по данным полевых исследований;
- толщина слоя насыпных грунтов и ее изменения в пределах контура проектируемых зданий и сооружений, содержания в насыпных грунтах растительных остатков, а так же крупных недеформируемых включений;
- физико-механические свойства насыпных и подстилающих их естественных грунтов;
- чувствительность конструкций зданий и сооружений к неравномерным осадкам.

**3.4.16.** Насыпные грунты используются в качестве естественного основания фундаментов зданий и сооружений с применением только конструктивных мероприятий (без инженерной подготовки основания), если изменчивость грунтов основания по сжимаемости  $E_{max}/E_{min}$  не превышает ниже приведенных значений:

$$\text{при } E_{cp}=7.5\text{МПа} \quad 1.2 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 1.5$$

$$E_{cp}=1.5\text{МПа} \quad 1.4 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 2$$

$$E_{cp}=30.0\text{МПа} \quad 1.6 \leq \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 3$$

При отношениях  $E_{max}/E_{min}$  менее нижних значений, конструктивные мероприятия не предусматриваются и строительство осуществляется как на аналогичных грунтах естественного сложения,

где  $E$  – модуль общей деформации грунтов, полученный по данным полевых исследований (испытание грунтов штампами).

**3.4.17.** Однородные по составу, но неоднородные по сжимаемости (т.е. при отношениях  $\frac{E_{max}}{E_{min}}$  выше указанных значений, указанных в п 3.4.16)

отвалы и свалки песчаных грунтов, шлаков, формовочной земли, хвостов

обогачительных фабрик могут быть использованы в качестве оснований фундаментов только при условии предварительного уплотнения их тяжелыми трамбовками или замены части грунта с устройством грунтовой, шлаковой или песчаной подушки или глубинного их уплотнения (т.е. инженерной подготовки основания) с соблюдением требований необходимых конструктивных мероприятий.

Использование таких насыпных грунтов без инженерной подготовки основания допускается только для временных сооружений.

**3.4.18.** При толщине несслежавшихся, неравномерно сжимаемых отвалов грунтов и отходов производств более 5м подготовку оснований фундаментов рекомендуется производить глубинным уплотнением грунтов или песчаными сваями на всю толщу насыпного грунта, либо устраивать свайные фундаменты, прорезающие насыпной грунт.

**3.4.19.** Свалки грунтов, содержащие растительных остатков до 10% могут быть использованы в качестве основания фундаментов зданий и сооружений при условии осуществления конструктивных мероприятий и инженерной подготовки основания вышеуказанными методами и обеспечивающими достижения отношения модулей общей деформации грунтов в пределах указанных в п.3.4.16.

Использование насыпных грунтов, с содержанием растительных остатков более 10%, а также в случае их гнездообразного или линзообразного залегания, в качестве основания, решается на основании техно-экономического расчета возможных вариантов: инженерной подготовки оснований и применением фундаментов в виде перекрестных лент или сплошных плит, свайных фундаментов и т.п.

### **Глубина заложения фундаментов**

**3.4.20.** Глубина заложения фундаментов в насыпных глинистых и песчаных грунтах назначается исходя из гидрогеологических условий строительной площадки и возможных их изменений в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения, глубины сезонного промерзания грунтов и др., руководствуясь требованиями главы 2 КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» (п.2.25-2.33).

**3.4.21.** Глубина заложения фундаментов в насыпных грунтах, отвалах и свалках, состоящих из отходов производств:

- при залегании уровня грунтовых вод более 2м от отметки заложения фундаментов назначается независимо от расчетной глубины промерзания грунтов основания и исходя из конструктивных требований;

- при залегании уровня грунтовых вод 2м и менее, назначается ниже расчетной глубины промерзания грунтов основания.

В насыпных грунтах из отходов обогачительных фабрик, глубина заложения фундаментов принимается не менее расчетной глубины промерзания грунтов.

## Расчет оснований

**3.4.22.** Основания, сложенные насыпными грунтами, должны рассчитываться в соответствии с требованиями раздела 2 КМК2.02.01-98. Если насыпные грунты являются просадочными, набухающими или имеют относительное содержание органического вещества  $J_{от} > 0.1$  (более 10%), следует учитывать требования разделов 3, 4, 8 КМК. Полная деформация основания должна определяться суммированием осадок основания от внешней нагрузки и дополнительных осадок от самоуплотнения насыпных грунтов и разложения органических включений, а также осадок (просадок) подстилающих грунтов от веса насыпи и нагрузок от фундамента.

**3.4.23.** Расчет оснований производится по второму предельному состоянию (по деформациям), при этом основание должно удовлетворять условию

$$S \leq S_u \quad (3.4.2)$$

где  $S$  – совместная деформация основания и сооружения, определяемая расчетом в соответствии с указаниями обязательного приложения 2 КМК2.02.01-98 по формуле 7, в которой значение безразмерного коэффициента  $\beta$  принимается равным: для грунтов естественного сложения (под насыпью) всех видов, а также грунтов в теле грунтовых подушек  $\beta=0.8$ ; для слежавшихся насыпных грунтов  $\beta=1$  и неслажавшихся насыпных грунтов  $\beta=1.2$

$S_u$  – предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое в соответствии с указаниями п. 2.51-2.55 КМК 2.02.01-98 приложение 4.

**3.4.24.** При содержании в насыпных грунтах органических веществ от 0.03 до 0.10 (3-10%) дополнительная осадка насыпных грунтов и отходов производства за счет полного разложения органических веществ определяется по формуле:

$$S_{om} = k_{om} J_{om} \rho_d h / \rho_s \quad (3.4.3)$$

где  $k_{om}$  – коэффициент, учитывающий возможность расположения органических включений в насыпных грунтах, принимаемый равным 0.4

$J_{om}$  – относительное содержание по массе органического вещества.

$\rho_d$  – плотность сухого (скелета) грунта, г/см<sup>3</sup>; т/м<sup>3</sup>

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>; т/м<sup>3</sup>

$h$  – толщина насыпных грунтов, содержащего органические включения, ниже подошвы фундамента, м.

**3.4.25.** Расчетное сопротивление основания, сложенного насыпными грунтами определяется исходя из условия, чтобы расчетные средние осадки оснований фундаментов не превышали допустимых для них величин, в соответствии с требованиями п.п.2.41-2.48 и рассчитывается по формуле 7 КМК 2.02.01-98. Значения коэффициентов  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  принимаются для планомерно

возведенных насыпей по табл.3 КМК; для отвалов  $\gamma_{c1} = 0.8$  и  $\gamma_{c2} = 0.9$ ;

свалок  $\gamma_{c1} = 0.6$ ;  $\gamma_{c2} = 0.7$ .

Предварительные размеры фундаментов зданий и сооружений допускается назначать исходя из значения расчетных сопротивлений грунтов основания  $R_0$  по таблице 3.4.2.

Таблица 3.4.2

### Расчетное сопротивление $R_0$ насыпных грунтов

Характеристика насыпи	$R_0$ , КПа			
	Пески крупные, средней крупности и мелкие, шлаки и т.п. при степени влажности, $S_2$		Пески пылеватые, супеси, суглинки, глины, золы и т.п. при степени влажности, $S_r$	
	$S_r \leq 0.5$	$S_r \geq 0.8$	$S_r \leq 0.5$	$S_r \geq 0.8$
Насыпи планомерно возведенные с уплотнением	250	200	180	150
Отвалы грунтов и отходов производств: с уплотнением без уплотнения	250	200	180	150
	180	150	120	100
Свалки грунтов и отходов производств: с уплотнением без уплотнения	150	120	120	100
	120	100	100	80
<b>Примечания:</b>				
1. Значения $R_0$ относятся к насыпным грунтам с содержанием органических веществ $J_{om} \leq 0,1 (\leq 10\%)$ .				
2. Для несслежавшихся отвалов и свалок грунтов и отходов производств значения $R_0$ принимается с коэффициентом 0.8.				
3. Значениями $R_0$ допускается пользоваться для назначения окончательных размеров фундаментов зданий и сооружений III класса.				

**3.4.26.** Давление у края и под углом вне центрально загруженного фундамента ограничивается исходя из величины расчетного сопротивления  $R_0$  определяемое по формуле 7 КМК2.02.01-98 для планомерно возведенных насыпей для отвалов и свалок с умножением расчетных значений  $R_0$  по формуле 7 на коэффициент 0.9.

### Конструктивные мероприятия

**3.4.27.** Конструктивные мероприятия при строительстве зданий сооружений на насыпных грунтах и отходов производств применяются в тех случаях, когда осадки фундаментов как по абсолютной величине, так и степени

их неравномерности превышают предельно допустимые значения по п.2.55 и приложению 4 КМК2.02.01-98. Строительство на планомерно возведенных насыпях осуществляется как на обычных грунтах естественного сложения и специальные конструктивные мероприятия, связанные с насыпным происхождением основания, не требуются.

При использовании насыпных грунтов отвалов и свалок – в качестве основания зданий и сооружений следует предусматривать применение комплекса мероприятий, направленных на обеспечение нормальной эксплуатации этих зданий и сооружений при возможных неравномерных деформациях оснований.

По своему техническому содержанию конструктивные мероприятия подобны мероприятиям, применяемым при строительстве на просадочных грунтах: выбор соответствующей схемы конструкции зданий или сооружений, малочувствительных к неравномерным осадкам, устройство поясов, осадочных швов и т.п.

Конструктивные мероприятия назначаются в соответствии с требованиями раздела КМК2.02.01-98, с учетом дополнительных требований, изложенных ниже в п.п.3.4.28 – 3.4.35.

Выбор вида конструктивных мероприятий или их сочетаний производится в зависимости от изменчивости модулей деформации насыпных грунтов, залегающих в основании (п.3.4.16) и конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений.

**3.4.28.** Бескаркасные крупнопанельные многоэтажные жилые и общественные здания с жесткой схемой конструкций допускается строить на отвалах и свалках, не удовлетворяющих требованиям к планомерно возведенным насыпям лишь в случае, если последние имеют однородный состав и толщину слоя не более 5м, а также при условии обеспечения равномерной их осадки за счет инженерной подготовки основания одним из способов, перечисленных в п.3.4.5. Уплотнение грунтов должно производиться в пределах всей сжимаемой толщи основания.

**3.4.29.** Бескаркасные здания крупноблочные, кирпичные и из мелких камней могут строиться на отвалах и свалках с толщиной слоя более 5м только при условии инженерной подготовки основания одним из способов, указанных в п.3.4.5, и при осуществлении конструктивных мероприятий с учетом требований п.3.4.16.

При этом следует иметь в виду, что более надежными конструкциями таких бескаркасных зданий, строящихся на насыпных грунтах, являются здания с продольными или поперечными несущими стенами.

Многоэтажные жилые и общественные здания с конструктивной схемой, предусматривающей внутренний ряд колонн на отдельно стоящих фундаментах, для строительства на насыпных грунтах не допускаются.

**3.4.30.** Здания и сооружения с несущими и самонесущими стенами из камня малой прочности (проектной марки 50 и ниже), возводимые на отвалах и свалках, должны иметь высоту не более двух этажей.

**3.4.31.** Применение облегченных каменных кладок для несущих и самонесущих стен зданий и сооружений, строящихся на однородных по составу отвалах, допускается только при условии специального обоснования, а строительство зданий и сооружений (кроме временного назначения) на свалках не допускается.

**3.4.32.** Расположение осадочных швов принимается в зависимости от мест сопряжения напластований отдельных разновидностей грунтов в основании и конструкций возводимых зданий и сооружений.

Швы следует располагать в местах резкого изменения толщины слоя насыпных грунтов, их состава и сложения. При одинаковой толщине слоя насыпных грунтов осадочные швы располагаются так же, как и при строительстве на обычных грунтах естественного сложения – в местах значительного изменения высоты зданий и сооружений и передаваемых нагрузок на основание. Во всех случаях осадочные швы целесообразно располагать у поперечных стен.

Конструкция осадочных швов должна обеспечивать возможность горизонтальных и вертикальных смещений отдельных отсеков здания или сооружения. Забор между отдельными отсеками рекомендуется принимать не менее 3см по всей высоте шва. Ширина осадочных швов принимается равной 2-4см.

**3.4.33.** Фундаменты зданий и сооружений, возводимых на насыпных грунтах, допускаются ленточные, отдельно стоящие (в том числе и свайные) или в виде перекрестных лент или сплошных плит.

При строительстве на планомерно возведенных насыпях конструкции фундаментов принимаются практически такими же, как и при строительстве на обычных грунтах естественного сложения.

При строительстве на отвалах и свалках с инженерной подготовкой основания (согласно п.п.3.4.5-3.4.7) отдельно стоящие фундаменты целесообразно применять для каркасных зданий и сооружений, а для бескаркасных зданий – ленточные монолитные или сборно-монолитные (бетонные, бутобетонные, каменные с армированными поясами у подошвы и по верху фундаментов). Из сборных элементов допускается выполнять только вертикальную часть ленточных фундаментов при условии, если лента в пределах подошвы фундамента предусматривается из монолитного железобетона, а по верху фундамента устраивается армированный пояс.

В случае когда инженерная подготовка основания не может быть осуществлена, следует предусматривать фундаменты в виде перекрестных лент, сплошных железобетонных плит или свайные фундаменты со сваями, прорезающими всю толщу насыпных грунтов.

**3.4.34.** Для свайных фундаментов из забивных свай, прорезающих насыпные грунты, при определении их несущей способности расчетное сопротивление грунта на боковой поверхности свай и в пределах насыпных грунтов принимается для предварительных расчетов по табл. 3.4.3. Расчетная величина нагрузки на сваи принимается по результатам статических испытаний свай.

**3.4.35.** Надземные части зданий и сооружений, возводимые на насыпных грунтах, должны проектироваться с конструктивными мероприятиями исходя из возможной неравномерности осадки выбранного типа фундаментов при принятом методе инженерной подготовки основания.

Таблица 3.4.3

**Расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности свай  $f^H$  в т/м<sup>2</sup>**

Насыпные	Значения $f^H$ в т/м <sup>2</sup> при содержании в насыпных грунтах растительных остатков в % (по весу)		
	до 10	более 10	более 20
1. Планомерно возведенные насыпи	По табл.2 КМК2.02.02-98	0.5 от значений $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98	
2. Отвалы слежавшиеся	То же	То же	Не учитывается
3. Свалки слежавшиеся	0.5 от значений $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98	Не учитывается	То же
4. Отвалы и свалки несслежавшиеся	Учитывается негативное трение, равное 0.7 $f^H$ по табл.2 КМК2.02.02-98		-

## **РАЗДЕЛ 4. ОБРАТНЫЕ ЗАСЫПКИ**

### **4.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАСЫПОК**

#### **Общие положения**

**4.1.1.** Обратные засыпки представляют собой разновидность насыпных грунтов, которые планомерно укладываются и уплотняются до заданной по проекту плотности. Они предназначены для заполнения котлованов, пазух и траншей или для использования в качестве оснований под фундаменты технологического оборудования, полы и другие конструкции. К обратным засыпкам относятся также насыпные грунты, покрывающие различные подземные сооружения.

**4.1.2.** Проектировать обратные засыпки необходимо на основе материалов инженерно-геологических исследований строительной площадки, руководствуясь КМК1.01.01-97 «Инженерные изыскания для строительства», а также КМК2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений» и раздела 4 настоящих «Рекомендаций...».

**4.1.3.** Настоящие «Рекомендации...» распространяются на устройство обратных засыпок из песков, супесей, суглинков и глин.

Грунт, предназначенный для обратных засыпок не должен содержать:

- строительного мусора (отходов строительного производства);
- органических включений более 5% по массе;
- водорастворимых солей более 0,3% по массе;
- мерзлых комьев более 15% общего объема засыпки размером до 30см, при засыпке пазух снаружи зданий. Включение в состав грунта, отсыпаемого под полы внутри зданий, мерзлых комьев не допускается.

При наличии в основании обратных засыпок просадочных грунтов II-го типа выполнять обратные засыпки из песчаных, группнообломочных грунтов и других дренирующих материалов не допустимо.

**4.1.4.** Проект выполнения обратных засыпок должен содержать основные характеристики физико-механических свойств грунтов, а так же требования к производству работ по уплотнению грунтов.

**4.1.5.** Деформируемость обратных засыпок зависит от плотности, влажности, способа и давности укладки, вида грунта, а также от величины воспринимаемого ими давления от фундаментов и ограждающих конструкций.

**4.1.6.** Требуемая плотность грунта, выражаемая плотностью скелета грунта или коэффициентом уплотнения, назначается проектом на основании исследований грунта методом стандартного уплотнения, при котором определяются его максимальная плотность и оптимальная влажность при уплотнении.

**4.1.7.** При установке фундаментов на основания из обратных засыпок организуются геодезические наблюдения за их осадками.

**4.1.8.** Грунты обратных засыпок должны именоваться в проектах по номенклатуре РСТ Уз-25100-95 (ГОСТ 25100-95) с дополнительным указанием:

- а) однородности и вида грунта;

б) способа отсыпки (автомобильным или железнодорожным транспортом, подачей транспортерами, скреперами, бульдозерами и т.п. с одновременным или последующим уплотнением механизмами).

Обратные засыпки, в которых преобладают крупные включения различных материалов, именуются по виду этих включений с указанием материала, заполняющего промежутки между ними.

### **Факторы, влияющие на осадку грунтов обратных засыпок**

**4.1.9.** Основными факторами, влияющими на осадку обратных засыпок после их уплотнения, являются:

- а) способ отсыпки и применяемые грунтоуплотняющие механизмы;
- б) вид и состав грунтов, используемых для обратной засыпки, а также их физико-механические свойства;
- в) общая мощность укладываемых обратных засыпок и её изменение в пределах участка расположения отдельных фундаментов и других конструкций;
- г) физико-механические свойства грунтов обратных засыпок и подстилающих их грунтов природного сложения;
- д) жесткость конструкций зданий, сооружений и технологического оборудования и их способность воспринимать неравномерные осадки основания.

**4.1.10.** Возможность использования обратных засыпок в качестве оснований под фундаменты и полы промышленных зданий и сооружений должна определяться малой изменчивостью их сжимаемости в плане и по глубине. Исходя из этого, в зависимости от видов грунтов, используемых для обратных засыпок и их функционального назначения, должны быть применены соответствующие механизмы и способы уплотнения.

**4.1.11.** В производственных помещениях с мокрыми технологическими процессами недопустимы утечки воды из водных коммуникаций, так как это может привести не только к значительным дополнительным осадкам, но и к просадкам грунтов обратных засыпок. В связи с этим при проектировании необходимо предусматривать соответствующие водозащитные мероприятия.

**4.1.12.** После уплотнения механизмами, обратные засыпки в последующем дополнительно самоуплотняются под действием силы тяжести. Это самоуплотнение будет тем меньшим, чем качественнее произведено уплотнение грунтов. Исходя из этого по давности отсыпки грунты можно подразделить на:

- а) слежавшиеся, в которых процесс самоуплотнения от собственного веса закончился;
- б) неслежавшиеся, в которых процесс самоуплотнения продолжается.

Расчет осадок фундаментов должен учитывать возможную их дополнительную осадку за счет самоуплотнения оснований от собственного веса.

Ориентировочные данные об осадке насыпных грунтов от собственного веса в процентах к начальной их толщине приведены в табл. 4.1.1.

Таблица 4.1.1

Вид грунтов	Процент осадки по отношению к первоначальной толщине
Хорошо уплотненные крупнозернистые пески и обломочные материалы	до I
Менее уплотненные крепкозернистые пески и обломочные материалы	до 1,5
Неуплотненные крупнозернистые и среднезернистые пески	2,5-3
Хорошо уплотненные супеси и суглинки	1,0-1,5
Среднеуплотненные глинистые грунты	2-2,5
Неуплотненные глинистые грунты	10-12

**4.1.13.** Учет влияния доуплотнения обратных засыпок от собственного веса при определении осадок фундаментов следует производить по методам расчетов деформаций грунтов во времени, изложенных в соответствующих главах КМК 2.02.01-98.

#### **Определение пригодности грунта для обратных засыпок**

**4.1.14.** Выбор вида грунта и степень его уплотнения зависит от функционального назначения обратной засыпки.

**4.1.15.** Уплотняемость песчаных грунтов значительно выше глинистых, поэтому при устройстве обратных засыпок следует отдавать предпочтение крупнообломочным, гравелистым и песчаным грунтам. При этом следует иметь в виду, что устройство песчаных, гравелистых и т.п., обратных засыпок на подстилающих просадочных грунтах II-го типа по просадочности, не допустимо.

**4.1.16.** Суглинистые грунты труднее поддаются уплотнению (по сравнению с песчаными), но после уплотнения обладают высокой связностью и водонепроницаемостью.

**4.1.17.** Глины плохо поддаются уплотнению, поэтому необходимо при производстве работ обращать особое внимание на тщательность их уплотнения и соотношение фактической и оптимальной влажности.

**4.1.18.** Применение для обратных засыпок пылеватых грунтов допускается в том случае, если они не перенасыщены влагой, от которой теряют устойчивость, а при промерзании склонны к пучению.

**4.1.19.** Песчаные и глинистые грунты с повышенным содержанием органических веществ (более 3-5%) и водорастворимых солей (более 0.3%) для устройства обратных засыпок, не допускаются.

Степень засоленности грунтов следует оценивать по данным, приведенным в табл. 4.1.2.

Таблица 4.1.2

## Показатели засоленности грунтов

Степень засоленности грунта	Среднее суммарное содержание водорастворимых солей в грунте, в % по весу	
	Хлоридное и сульфато- хлоридное засоление	Сульфатное и хлорид- носльфатное засоление
1	2	3
Слабозасоленные	0,3-1	0,3-0,5
Среднезасоленные	1-5	0,5-2
Сильнозасоленные	5-8	2-5
Избыточнозасоленные	> 8,0	> 5,0

1. Приблизительно можно считать, что процесс самоуплотнения заканчивается в первые два года для песчаных грунтов и в 5-7 лет для глинистых грунтов.

## Требования к плотности грунтов

**4.1.20.** При уплотнении обратных засылок из глинистых и песчаных грунтов, в зависимости от требуемой плотности, руководствуются величиной коэффициента уплотнения, который представляет собой отношение проектной плотности грунта к его максимальной плотности, полученной в приборе стандартного уплотнения по РСТУз 786-97

$$K_{уп} = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}}, \quad (4.1.1)$$

где  $\rho_d$  - плотность скелета грунта в засыпке, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{dmax}$  максимальная плотность скелета грунта, определяется методом стандартного уплотнения, г/см<sup>3</sup>.

Из формулы (4.1.1) следует, что проектная плотность обратной засыпки должна быть равна

$$\rho_d^{пр} = \rho_{dmax} \times K_{уп} \quad (4.1.2)$$

Ориентировочные значения максимальной плотности и соответствующие ей оптимальные влажности приведены в табл. 4.1.3.

Таблица 4.1.3

Грунт	Пределы колебаний	
	Оптимальной влажности, %	Максимальной плотности скелета, г/см <sup>3</sup>
Песчаный	8-12	1,75-1,95
Супесчаный	9-15	1,65-1,85
Пылеватый	14-23	1,60-1,82
Суглинистый	12-18	1,65-1,85
Суглинистый тяжелый	15-22	1,60-1,80
Суглинистый пылеватый	17-23	1,58-1,78
Глинистый	18-25	1,55-1,75

Ориентировочные значения коэффициента уплотнения  $K_{уп}$  для различных сооружений приведены в табл. 4.1.4.

Таблица 4.1.4

Виды земляных сооружений	Коэффициент стандартного уплотнения - $K_{уп}$
Основания под фундаменты	0,98
Засыпки под полы	0,98
Пазухи фундаментов	0,95
Засыпки траншей	0,95
Места сопряжений земляного полотна подъездных дорог с искусственными сооружениями	0,96
Пазухи опор электропередач, телефонной связи и др.	0,94

Рекомендуемые значения степени уплотнения грунтов в обратных засыпках котлованов приведены в таблице 4.1.5

Таблица 4.1.5

Назначение обратной засыпки	Необходимая степень уплотнения	Допускаемое отклонение влажности от оптимальной
Основания фундаментов конструкций, тяжелого технологического оборудования, полов с нагрузкой более 0,15 МПа	$\frac{0,95 \dots 0,97}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,02 \dots 0,01)$
То же, среднего оборудования, внутренних конструкций зданий, полов с нагрузкой 0,05...0,15 МПа	$\frac{0,92 \dots 0,95}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,04 \dots 0,02)$
То же, легкого оборудования, полов с нагрузкой менее 0,05 МПа, отмостки у зданий	$\frac{0,9 \dots 0,92}{1,65 \dots 1,75}$	$\pm(0,05 \dots 0,04)$
Не застраиваемые участки	$\frac{0,88 \dots 0,9}{1,5 \dots 1,55}$	$\pm(0,07 \dots 0,05)$

Примечание: В числителе приведены значения коэффициента уплотнения  $K_{упл}$ , в знаменателе плотность скелета грунта,  $г/см^3$ .

Значения  $K_{упл}$  в зависимости от нагрузки на поверхность уплотненного грунта приводятся в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6

Вид грунта	Значения коэффициента уплотнения $K$ при нагрузке на поверхность уплотненного грунта $P$ , КПа											
	P=0				P=50-200				P>200			
	При общей толщине отсыпки, м											
	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6
Глинистый	0.92	0.93	0.94	0.95	0.94	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.98
Песчаный	0.91	0.92	0.93	0.94	0.93	0.94	0.95	0.96	0.94	0.95	0.96	0.97

**4.1.21.** Допускается отклонение фактической (достигнутой) плотности скелета грунта от проектной не более чем на  $0.06 \text{ г/см}^3$  в 20% отобранных проб. При несоблюдении указанного требования надлежит уточнить технологию уплотнения грунта и типы грунтоуплотняющих машин и механизмов.

**4.1.22.** Допускаемое отклонение влажности грунта  $W_{\text{опт}}$ , от оптимальной в зависимости от вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения  $K_{\text{упл}}$  следует принимать по данным табл. 4.1.7.

Таблица 4.1.7

Коэффициент уплотнения	Допускаемое отклонение влажности грунта ( $\pm$ ) от оптимальной $W_{\text{опт}}$ , %	
	глинистого	песчаного
0.98 - 0.97	3	6
0.96 – 0.95	4	8
0.94 – 0.92	5	10
0.91	7	14

**4.1.23.** При отклонении влажности глинистого грунта от оптимальной до  $\pm 3\%$ , число проходов (ударов) уплотняющих машин и механизмов или время уплотнения одного следа должны быть увеличены в два раза, а при отклонении  $\pm 7\%$  - в три раза.

**4.1.24.** При отклонении влажности песчаного грунта от оптимальной до  $\pm 6\%$ , число проходов (ударов) уплотняющих машин и механизмов или время уплотнения одного следа должны быть увеличены в два раза, а при отклонении до  $\pm 14\%$  - в три раза.

**4.1.25.** В случаях, когда грунтовые основания под полы подвержены изменению температурно-влажностного режима, связанного с периодическим промерзанием и оттаиванием грунта, а также с его замачиванием, коэффициент уплотнения следует принимать  $K \geq 0.93$ .

**4.1.26.** Максимальная плотность  $\rho_{dmax}$  и соответствующая ей оптимальная влажность  $W_{opt}$  для данного вида грунта определяются методом стандартного уплотнения на приборе стандартного уплотнения по РСТ Уз 786-97.

Для предварительных расчетов максимальную стандартную плотность ориентировочно можно определить по формуле

$$\rho_{dmax} = \frac{\rho_s (1 - 0,01V)}{1 + \rho_s \times 0,01W_{opt}}$$

Где  $\rho_s$  – плотность минеральных частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$W_{opt}$  - оптимальная влажность, %;

$V$  – объем воздуха в грунте при оптимальной влажности, принимаемый в %, для супеси – 8-10, суглинка – 4-5; тяжелого суглинка – 3-4; глины – 4-6.

**4.1.27.** Определение максимальной стандартной плотности грунтов, содержащих частицы крупнее 5мм до 40% по весу, осуществляется методом стандартного уплотнения отсеянного (с частицами менее 5мм) грунта. Для учета влияния на свойства грунта включений частиц крупнее 5мм вводятся поправочные коэффициенты, ориентировочные значения которых для пород с плотностью частиц более 2,6-2,7 приведены в табл. 4.1.8.

Таблица 4.1.8

#### Поправочные коэффициенты на величину включений

Содержание в грунте частиц крупнее 5мм, в %	Поправочные коэффициенты	
	К максимальной стандартной плотности	К оптимальной влажности
5	1,02	0,95
10	1,04	0,90
15	1,06	0,85
20	1,08	0,80
25	1,10	0,75
30	1,13	0,70
40	1,15	0,65

**4.1.28.** Плотность грунта в обратных засыпках, являющихся основанием для фундаментов под оборудование, внутренние несущие стены, а так же под полы с нагрузкой на них более  $8 \text{ т/м}^2$ , должна быть не менее  $1,60 \text{ г/см}^3$  для суглинков,  $1,65 \text{ г/см}^3$  для супесей и  $1,70 \text{ г/см}^3$  для песков. Плотность грунта в обратных засыпках, являющихся основанием фундаментов легкого оборудования и подготовкой под полы с нагрузкой менее  $8 \text{ т/м}^2$ , допускается снижать до  $1,55 \text{ г/см}^3$  для суглинков,  $1,60 \text{ г/см}^3$  для супесей и  $1,65 \text{ г/см}^3$  для песков. Плотность обратных засыпок, не несущих нагрузки, принимается не ниже  $1,50 \text{ г/см}^3$ .

**4.1.29.** Наибольший эффект уплотнения достигается при оптимальной влажности грунта, значение которой для глинистых грунтов зависит от применяемого метода уплотнения, вида машин и механизмов. Величина её в каждом конкретном случае должна уточняться при опытном уплотнении.

Ориентировочная величина оптимальной влажности может быть определена по влажности на границе текучести  $W_T$  или влажности на границе раскатывания  $W_p$ :

$$\begin{aligned} W_{opt} &= \alpha W_m, \% \\ W_{opt} &= W_p - \alpha, \% \end{aligned} \quad (4.1.4)$$

где  $\alpha$  – переходной коэффициент, ориентировочно принимаемый для супеси 0,7, для суглинков 0,55 и для глины 0,5;

$\alpha$  - поправка, равная для суглинка – I, для глины – 2.

Отклонение фактической влажности от оптимальной не должно превышать  $\pm 1.0\%$  для связных грунтов и  $\pm 2.0\%$  для несвязных грунтов.

**4.1.30.** При влажности грунта ниже оптимальной на 3% и более его необходимо доувлажнять. Потребное количество воды (А) на  $1 \text{ м}^3$  грунта для получения оптимальной влажности определяется по формуле

$$A = 0,01 (W_{opt} - W) \times \rho_d, \quad (4.1.5)$$

Где  $W_{opt}$  – значение оптимальной влажности для данного грунта, %;

$W$  – фактическая влажность грунта, который нужно доувлажнять, %;

$\rho_d$  – величина плотности скелета грунта, которую необходимо получить в результате уплотнения,  $\text{т/м}^3$ .

Доувлажнение грунта необходимо производить в резерве или в карьере. Возможное уменьшение влажности грунта за счет испарения до его укладки в обратную засыпку необходимо учитывать при вычислении потребного количества воды путем принятия значения  $W_{opt}$  на 2-3% выше расчетного.

При избыточной влажности грунта следует производить его подсушивание.

**4.1.31.** Степень уплотнения грунта обратных засыпок можно также оценивать коэффициентом уплотнения

$$K = \frac{\rho_d^\Phi}{\rho_d^{np}}, \quad (4.1.6)$$

где  $\rho_d^\Phi$  - фактическая плотность грунта после уплотнения,  $\text{г/см}^3$ ;

$\rho_d^{pp}$  - заданная (проектная) плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

При качественном уплотнении грунта обратной засыпки коэффициент  $K$  равен или близок к 1.

### Выбор допускаемых давлений на обратные засыпки

**4.1.32.** При определении нормативных и расчетных нагрузок на обратные засыпки, являющиеся основанием фундаментов, следует руководствоваться положениями глав КМК 2.02.01-98 «Основания зданий и сооружений».

**4.1.33.** Для расчета осадок оснований, сложенных грунтами обратных засыпок, необходимо установить изменчивость их сжимаемости от нагрузки в пределах проектируемого здания или сооружения, которая оценивается величиной  $\alpha$ , равной отношению максимального модуля деформации  $E_{max}$  к величине минимального модуля деформации  $E_{min}$ .

$$\alpha = \frac{E_{max}}{E_{min}}. \quad (4.1.7)$$

**4.1.34.** Сжимаемость обратной засыпки устанавливается испытанием грунта штампом в соответствии с ГОСТ20276-85 «Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости» по результату которого вычисляется модуль деформации грунта. Должно быть проведено в контуре здания или сооружения не менее 3 штамповых испытаний до возведения фундаментов или устройства полов. Если изменчивость сжимаемости грунта превышает нормативную величину, необходимо произвести доуплотнение грунта.

**4.1.35.** Грунты обратных засыпок могут использоваться в качестве оснований под фундаменты и полы, если изменчивость их по сжимаемости не превышает величины:

при $E_{cp}=7,5$ МПа	$1,2 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 1,5$
$E_{cp}=15$ МПа	$1,4 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 2,0$
$E_{cp}=30$ МПа	$1,6 < \frac{E_{max}}{E_{min}} < 3,0$

**4.1.36.** Предварительные размеры фундаментов определяются исходя из расчетного давления на грунт ненарушенного сложения с учетом снижения его несущей способности в обратной засыпке по формуле

$$R_{0зас} = KR_0 \quad (4.1.8)$$

где  $R_0$  - расчетное давление на грунт ненарушенного сложения, принимаемое в зависимости от его плотности, пористости и консистенции по табл. 4.1.9 и 4.1.11.

$K$  - коэффициент, учитывающий влияние нарушения первичных природных структурных связей на сопротивление грунта нагрузке; принимается по графикам рис.4.1.1 в зависимости от задаваемых проектных нагрузок  $P$ , КПа на грунт обратной засыпки.

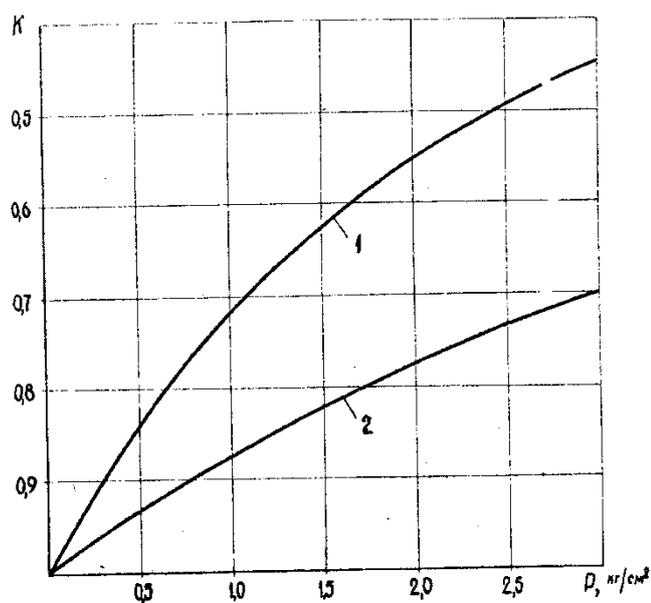


Рис. 4.1.1. График зависимости коэффициента нарушения структурных связей от удельного давления на грунт:  
1 - суглинок; 2 – песок.

### Расчетное давление на песчаные грунты в зависимости от плотности

Таблица 4.1.9

Песчаные грунты	Значения $R_0$ в КПа	
	плотные	средней плотности
1	2	3
Пески крупные независимо от влажности	450	350
Пески средней крупности независимо от влажности	350	250
Пески мелкие:		
а) маловлажные	300	200
б) очень влажные и насыщенные водой	250	150
Пески пылеватые:		
а) маловлажные	250	200
б) влажные	200	150
в) насыщенные водой		

Характеристика песчаных грунтов по плотности приведена в табл.4.1.10

Таблица 4.1.10

### Характеристика песчаных грунтов по плотности

Наименование песчаных грунтов	Плотность песчаных грунтов, г/см <sup>3</sup>		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые круп-ные и средней крупности	$\rho_d > 1,72$	$1,72 \geq \rho_d > 1,56$	$\rho_d < 1,56$
Пески мелкие	$\rho_d > 1,66$	$1,66 \geq \rho_d \geq 1,52$	$\rho_d < 1,52$
Пески пылеватые	$\rho_d > 1,66$	$1,66 \geq \rho_d \geq 1,48$	$\rho_d < 1,48$

### Расчетное давление на глинистые грунты в зависимости от пористости и консистенции

Таблица 4.1.11

Глинистые грунты	Значения $R_0$ в КПа		
	Коэф.пористости	Консистенция	
		$J_L=0$	$J_L=1$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	200
	0,7	250	180
Глины	1,0	200	100
	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

**4.1.37.** Для предварительных расчетов расчетное сопротивление  $R_0$  на уплотненные грунты можно принять по таблице 4.1.12

Таблица 4.1.12

Грунты	$R_0$ при $K_{yn}$ , КПа		
	0,92	0,95	0,97
Супеси	200	250	280
Суглинки	250	300	320
Глины	300	350	400
Крупные пески	300	400	500
Средние	250	300	400
Мелкие	200	250	300

При определении расчетного сопротивления на уплотненные грунты по деформациям основания по формуле 7, КМК2.02.01-98 значения удельного сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  для обратных засыпок, сложенных лессовыми грунтами, принимаются на стадии предварительных расчетов по табл. 4.1.13, при этом обязателен расчет основания по деформациям.

**4.1.38.** Для предварительных расчетов величин средних осадок оснований из обратных засыпок, для уплотненных грунтов, модуль общей деформации принимается по табл. 4.1.14.

**4.1.39.** При расчете бокового давления на конструкции подземных сооружений с учетом их взаимодействия с грунтом обратной засыпки в упругой стадии её деформирования, модуль боковой деформации допускается определять по модулю вертикальной деформации для этого грунта по формуле

$$E^b = mE^v \quad (4.1.8),$$

Где  $E^v$  - модуль вертикальной деформации грунта обратной засыпки; для предварительных расчетов принимается по таблице 4.1.14.

$m$  - коэффициент, учитывающий влияние изменяющихся по глубине деформативных свойств грунтового массива, ограниченного сверху горизонтальной незагруженной поверхностью; принимается по графику рис.4.1.2 на глубине приложения равнодействующей бокового давления.

Обобщенные значения прочностных характеристик уплотненных лессовых грунтов ( $I_p=0,05\dots0,18$ )

Таблица 4.1.13

Показатель	Коэффициент $K_{уп}$		
	<b>0,92</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>
Сцепление, КПа	5,5/2,5	7,5/3,5	10/4,5
Угол внутреннего трения, град	28/24	30/25	32/26

Примечание. В числителе даны значения при степени влажности грунта  $\leq 0,8$ .

## Обобщенные данные по сжимаемости уплотненных грунтов

Таблица 4.1.14

Вид уплотненного грунта	Нормативные значения модулей деформации уплотненного грунта, КПа			
	При влажности уплотнения, равной $W_{\text{опт}}$		В водонасыщенном состоянии	
	$K_{\text{упл}}=0.92$	$K_{\text{упл}}=0.95$	$K_{\text{упл}}=0.92$	$K_{\text{упл}}=0.95$
1	2	3	4	5
Лессовидные супеси	200	250	150	200
Лессовидные суглинки и глины	250	300	200	250
Крупные пески	300	400	-	-
Средние пески	250	300	-	-
Мелкие пески	150	200	-	-

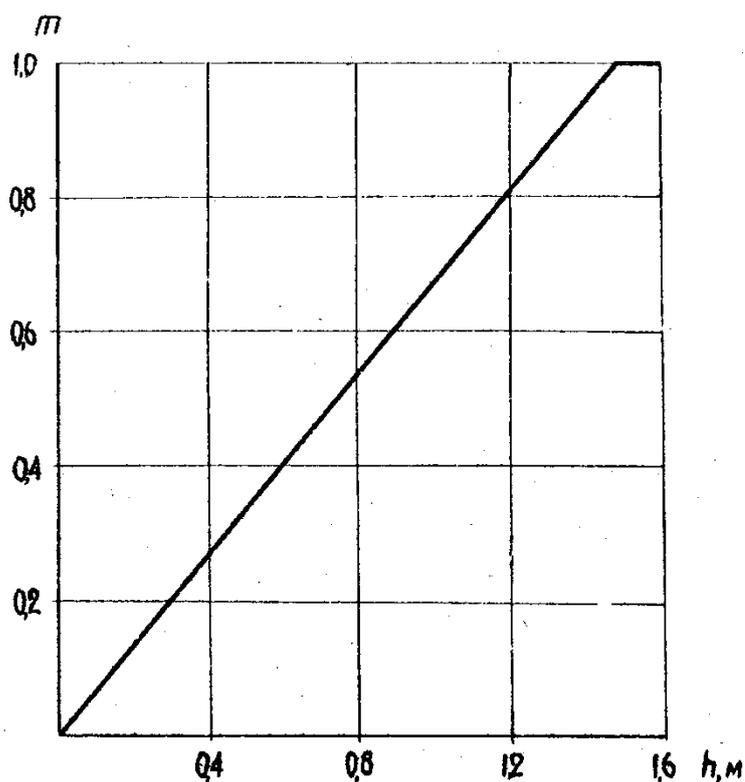


Рис. 4.1.2. График зависимости коэффициента изменения деформативных свойств грунтового массива от глубины приложения равнодействующей бокового давления

## 4.2. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

### Выбор машин и механизмов для уплотнения грунта

**4.2.1.** Комплект машин и механизмов должен обеспечить разработку грунта в резервах (карьерах), доставку его к участку работ, подачу в зону укладки, разравнивание и уплотнение.

**4.2.2.** Выбор грунтоуплотняющих машин производится по следующим основным показателям: приведенные затраты трудоемкости и производительность. Учитываются и дополнительные показатели: энергоемкость, металлоемкость, эксплуатационная надежность, универсальность механизированных средств, условия агрегирования подвесных механизмов возможность совмещения строительных операций и др.

**4.2.3.** Для уплотнения грунта в непосредственной близости от строительных конструкций предпочтение отдается машинам, уплотняющим грунт укаткой, вибротрамбованием или комбинированным воздействием (виброукатка, виброуплотнение с пригрузом) и вибрированием.

**4.2.4.** Для одного комплекта машин в ряде случаев выбирается несколько типов грунтоуплотняющих средств механизации с различными технико-эксплуатационными характеристиками.

**4.2.5.** Для уплотнения одного слоя, грунта, состоящего из полос связного и несвязного грунтов, рекомендуется выбирать комплект машин, уплотняющих оба вида грунта.

**4.2.6.** При выборе средств механизации предпочтение следует отдавать машинам, которые уплотняют грунт слоями большей толщины.

**4.2.7.** Использование сбрасываемых трамбуемых плит, подвешиваемых к стреле экскаватора, допускается при небольших объемах работ, так как машина в этом случае подвергается значительному износу.

**4.2.8.** Рекомендуется применять трамбовки тяжелого типа, поскольку эффективность их работы значительно выше, чем легких. Показатели по уплотнению пылеватных суглинков и песков средней плотности трамбовками с различными весовыми характеристиками приведены в таблицах 4.2.1; 4.2.2.

### Показатели уплотнения песков средней плотности трамбовками различных весовых характеристик

Таблица 4.2.1

Вес трамбовки (кН)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5
Число ударов при оптимальной скорости удара $V_{\text{опт}} = G$ м/сек	6	4	3	2	3
Затраченная работа (тс, м)	12	12	12	10	15
Максимальная осадка уплотняемой поверхности (см).	15.8	18.5	19.5	18.2	22.0

## Показатели уплотнения песков средней плотности трамбовками различных весовых характеристик

Таблица 4.2.2

Вес трамбовки (кН)	1.0	2.0	3.0	4.0
1	2	3	4	5
Число ударов при оптимальной скорости удара $V_{\text{опт}} = 5$ м/сек	12	6	4	3
Затраченная работа (тс.м)	15.4	15.4	15.4	15.4
Максимальная осадка уплотняемой поверхности (см)	4.7	7.7	10.2	12.4

**4.2.9.** Уплотнение обратных засыпок из связных грунтов, являющихся основанием под фундаменты, подъездные пути, полы и разгрузочные площадки, рекомендуется производить катками. Катки с гладкими вальцами применяются при уплотнении песчано-гравийных материалов при толщине отсыпаемого слоя до 0.15 м.

**4.2.10.** Уплотнение несвязных и малосвязных грунтов слоями толщиной от 0.2 до 0.45 м следует выполнять вибрационными катками весом от 1,5 до 12 т. При уплотнении таких грунтов слоями толщиной от 0,2 до 0,6 м рационально применять вибрационные самопередвигающиеся плиты весом от 140 до 2000 кг, а для связных грунтов использовать виброплиты от 4,0 до 8,0 тс или тяжелые катки весом 6-12тс.

**4.2.11.** Для уплотнения связных и несвязных грунтов слоями от 0,4 до 1,0 м следует применять трамбуемые машины ударного действия. Уплотнение таких грунтов слоями толщиной от 0,5 до 2,5 м можно производить трамбуемыми плитами весом до 4тс. При толщине уплотнения грунтов (связных и несвязных) от 0,1 до 0,3 м рекомендуются дизельные, электрические или пневматические трамбовки весом до 40 кг.

Для уплотнения связных и несвязных грунтов слоями толщиной от 0,2 до 0,5 м можно использовать гидромеханические вибротрамбовки.

**4.2.12.** Уплотнение песчаных грунтов слоями толщиной от 1 м до 10м рекомендуются производить гидровиброуплотнителями. Для песчаных грунтов, насыщенных водой, при больших объемах работ рекомендуется навесная вибрационная установка, при небольших объемах - вибробулава.

**4.2.13.** Выбор вспомогательных машин для разработки грунта в резервах, его транспортирования в зону работ, для разравнивания, увлажнения и др. производится после комплектования ведущими машинами.

**4.2.14.** Состав комплекта машин и механизмов должен обеспечивать непрерывность перемещения грунта от места разработки до укладки и уплотнения: подбор машин по производительности осуществляется из условия обеспечения непрерывной работы ведущих машин, входящих в комплект.

**4.2.15.** Выбор оптимального комплекта машин производится на основе технико-экономического анализа вариантов комплексной механизации. При этом оценка вариантов производится по показателям себестоимости, трудоем-

кости и продолжительности механизированных работ, исчисленных на весь объем или на  $1\text{ м}^3$  уплотненного грунта.

**4.2.16.** Выбор экскаватора для разработки резервов грунта (карьеров) осуществляется из расчета обеспечения принятой интенсивности работ по уплотнению грунта. Емкость ковша экскаватора принимается по данным табл. 4.2.3.

Рекомендуемая емкость ковша экскаваторов в зависимости от интенсивности переработки грунта.

Таблица 4.2.3

Интенсивность переработки грунта, тыс.м <sup>3</sup> в месяц	Емкость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>
До 20	0,5-0,65
20-60	1,0-1,25
60-100	2-0
Свыше 100	2-4

**4.2.17.** Выбор типа автосамосвала производят с таким расчетом, чтобы емкость его кузова была примерно равна пятикратной емкости ковша экскаватора, поскольку при таком соотношении достигается наиболее экономичная работа.

**4.2.18.** Количество автосамосвалов, необходимых для перевозки грунта, определяется расчетом. При этом учитывается грузоподъемность машин, производительность экскаватора, дальность перевозки и средняя скорость движения машин с грунтом и без него, потери времени на маневрирование, погрузку и ожидание погрузки.

**4.2.19.** Для подачи грунта в котлован при расположении резервов на бровках и послойного его разравнивания рекомендуется применять бульдозеры, которые выбираются в зависимости от конкретных условий их использования. В стесненных условиях используются малогабаритные бульдозеры, количество которых определяется расчетом, исходя из среднесменной производительности.

**4.2.20.** При стесненных условиях производство работ, характеризующихся наличием узких проходов и замкнутых полостей, целесообразно применять грунтоукладчик, с помощью которого грунт подается и равномерно распределяется по рабочей карте.

**4.2.21.** Типы и марки машин и механизмов для поверхностного и глубинного уплотнения грунта обратных засыпок в стесненных местах необходимо выбирать в зависимости от их наличия, при этом:

определяют виды и размеры стесненных мест, а также объемы и сроки выполнения работ по обратным засыпкам;

выбирают подходящие по габаритам грунтоуплотняющие машины и механизмы;

устанавливают возможность достижения проектной плотности скелета грунта выбранными грунтоуплотняющими машинами и механизмами путем опытного уплотнения;

оценивают влияние динамических и статических нагрузок от грунтоуплотняющих машин и механизмов на подземные конструкции;

определяют экономическую эффективность уплотнения грунта выбранными машинами и механизмами и на основе результатов сравнения нескольких вариантов принимают окончательный.

### Определение толщины уплотняемого слоя и режима работы грунтоуплотняющих машин и механизмов

**4.2.22.** Толщина уплотняемых слоев зависит от вида грунта, типа машин и механизмов, степени уплотнения. Стоимость отсыпки и уплотнения грунта, как правило, уменьшается с увеличением толщины уплотняемых слоев.

**4.2.23.** Плотность грунта по толщине уплотняемого слоя получается неравномерной и к низу уменьшается. Поэтому она должна приниматься такой, чтобы в нижней части этого слоя соответствовать проектной плотности.

**4.2.24.** Для связных и несвязных грунтов показатели толщины слоя грунта в зависимости от его вида и проектной плотности, а также от характеристик уплотняющих средств механизации определяются пробным уплотнением.

**4.2.25.** Толщину отсыпаемого слоя грунта  $h_0$  с оптимальной влажностью, в зависимости от вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения  $K_{упл}$  следует назначать по данным, приведенным в табл.4.2.4.

Таблица 4.2.4

Вид грунта	Толщина уплотненного слоя $h_y$ , см	Толщина отсыпаемого слоя $h_0$ , см, при коэффициенте уплотнения $K_{упл}$			
		0.98-0.97	0.96-0.95	0.94-0.93	0.92-0.91
1	2	3	4	5	6
Песчаный	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	130	125	120	115
Супесь	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125
Суглинок лессовидный	40	65	60	55	50
	60	100	95	90	85
	80	130	125	120	115
	100	165	160	155	150
Суглинок	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	125	120	115	110
Глинистый	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125

**4.2.26.** Толщину уплотняемого слоя грунта для достижения его высокой плотности (с коэффициентом стандартного уплотнения  $K_{упл}=1$  и более) следует уменьшить до 0,1 м.

В таблице 4.2.5 приведена плотность грунта, достигнутая при укатке катком на пневмоколесном ходу (вес 25г) в зависимости от толщины уплотняемого слоя в долях от максимальной стандартной плотности грунта.

Таблица 4.2.5

Глубина взятия проб, м	Грунты	
	малосвязный	связный
0,5-0,10	1,01	1,0
0,20-0,25	0,99	0,99
0,25-0,40	0,97	0,97
0,45-0,50	0,93	0,94

**4.2.27.** По мере увеличения числа ударов или проходов по одному следу всех грунтоуплотнителей, за исключением машин и механизмов вибрационного действия, плотность грунтов возрастает. При этом следует учитывать:

а) за 2-4 прохода трамбуемая машина уплотняет грунт на глубину 0,5 м;

б) число проходов пневмоколесных катков по одному следу ориентировочно принимают равным: для песчаных грунтов -2- 3, супесчаных 3- 4, суглинистых и тяжелосуглинистых – 5- 6 проходов по одному следу.

**4.2.28.** Для равномерного уплотнения грунтов по всей ширине уплотняемой полосы, которые достигается одинаковым давлением в шинах пневмокатка, для разных типов грунтов рекомендуется принимать следующие величины этого давления:

на песках – 2- 2,5; на супесях -3-4;

на суглинках и глинах – 5- 6 кг/см<sup>2</sup>.

При этом пневмокатки с нагрузкой на одну шину до 12 т, с давлением в шине 10,5 ат примерно за 30 проходов придают грунту плотность, равную 1,03-1,04 от максимальной стандартной.

При уплотнении связного грунта слоем в 0,3 м с примесью песчаных, пылеватных частиц и гравия виброкаток тяжелого типа весом 9 т за 2, 4, 6 и 8 проходов обеспечивает плотность равную соответственно 0,97; 0,98; 1,01; 1,03 максимальной стандартной. Последующее уплотнение грунта двумя – тремя проходами пневмокатка весом 50 т увеличивает плотность грунта до 1,05-1,07.

**4.2.29.** При уплотнении грунта самоходными пневмокатками с регулируемым из кабины давлением воздуха в шинах рекомендуется первый проход делать при пониженном давлении воздуха (1,5 - 2 кг/см<sup>2</sup>, а последующие - при номинальном).

**4.2.30.** При уплотнении грунта необходимо соблюдать рациональный скоростной режим работы катков. Первый и два последних прохода

совершаются на малых скоростях (4-5 км/час), а промежуточные – на максимальных.

**4.2.31.** При уплотнении грунта трамбуемой плитой, высота сбрасывания трамбовки, ее вес и площадь (диаметр) определяются по методике расчета параметров трамбуемых агрегатов. Ориентировочно вес трамбовки может быть принят таким, чтобы удельное статическое давление на грунт составляло не менее 0,15 кг/см<sup>2</sup> для песчаных и 0,2 кг/см<sup>2</sup> для глинистых грунтов.

**4.2.32.** Необходимое число ударов трамбовки по одному следу определяется по формуле

$$n = \frac{K \times i_p}{i}, \quad (4.2.1)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от требуемой плотности и вида грунта, определяемый по данным, приведенным в таблице 4.2.6;

$i$  – предельный удельный импульс (кгс, сек/см<sup>2</sup>), который определяется по формуле

$$i = \frac{q_{ст} \times V_{уд}}{g} = 0,1 q_{ст} \times V_{уд}, \quad (4.2.2)$$

где  $q_{ст} = \frac{Q}{F}$  – удельное статическое давление трамбовки, кг/см<sup>2</sup>;

$Q$  – общий вес трамбовки, кг;

$F$  – площадь основания трамбовки, см<sup>2</sup>;

$V_{уд}$  – скорость трамбовки в момент удара, м/сек;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>.

### Значения коэффициента «К»

Таблица 4.2.6

Плотность грунта в долях от максимальной стандартной	Вид грунта	
	связный	несвязный
0,95	4	2
0,98	7	4
1,00	14	10

### Значения предельных удельных импульсов $i_p$

Таблица 4.2.7

Вид грунтов	Предельные удельные импульсы, кгс, сек/см <sup>2</sup>
Песчаные, супесчаные, пылеватые	0,05-0,07
Суглинистые	0,07-0,12
Тяжелосуглинистые	0,12-0,20
Глины	0,20-0,27

Количество ударов трамбовкой и толщина уплотняемого слоя при необходимости уточняются пробным уплотнением.

**4.2.33.** Режим уплотнения грунта в местах сопряжения с подземными конструкциями устанавливается в зависимости от вида конструкций и требуемой плотности.

**4.2.34.** При уплотнении поверхностными виброуплотнителями песчаных грунтов, содержащих не более 10% глинистых частиц, толщина уплотняемого слоя ориентировочно определяется по номограмме, рис.4.2.1.

По значению удельного статического давления  $q_{ст}$  (кг/см<sup>2</sup>) для определенного виброуплотнителя и процентного содержания глинистых частиц в грунте по номограмме находится соответствующее точке пересечения указанных координат значение  $h_0$ .

Толщина уплотняемого слоя определяется по формуле 4.2.3

$$h=h_0 \times b \quad (2.4.3)$$

где  $b$  – меньший размер рабочей плиты виброуплотнителя, м;

$h_0$  – величина, определяемая по номограмме (рис.4.2.1).

**4.2.35.** Время, необходимое для уплотнения указанных в п. 4.2.34 грунтов, ориентировочно определяется по номограмме (рис.4.2.2).

Число проходов по одному следу, обеспечивающее требуемое время (взятое по номограмме) вибровоздействия на уплотняемый грунт при самопередвигающихся виброуплотнителях, подсчитывается по формуле

$$n=\frac{tv}{l}, \quad (4.2.4)$$

где  $t$  – время, необходимое для уплотнения грунта, сек;

$v$  – рабочая скорость передвижения виброуплотнителя, м/сек;

$l$  – размер рабочей площадки виброуплотнителя в направлении движения, м.

**4.2.36.** Для эффективного использования виброуплотнителей (вибро-трамбовок) при проектировании уплотнения связных грунтов необходимо:

а) производить работу при резонансной частоте системы «виброуплотнитель-грунт»;

б) принимать статическое удельное давление виброуплотнителя (с пригрузкой) на грунт не менее 0,7 кг/см<sup>2</sup>;

в) обеспечивать влажность грунта, равную оптимальной или несколько выше.

**4.2.37.** При работе вибромолотом наибольший эффект уплотнения достигается при соблюдении условий, указанных в п.4.2.35. Удельное статическое давление вибромолота с пригрузкой на грунт должен быть в пределах 0,25-0,35 кг/см<sup>2</sup>.

Рис. 4.2.1. Номограмма для определения толщины уплотняемого слоя грунта

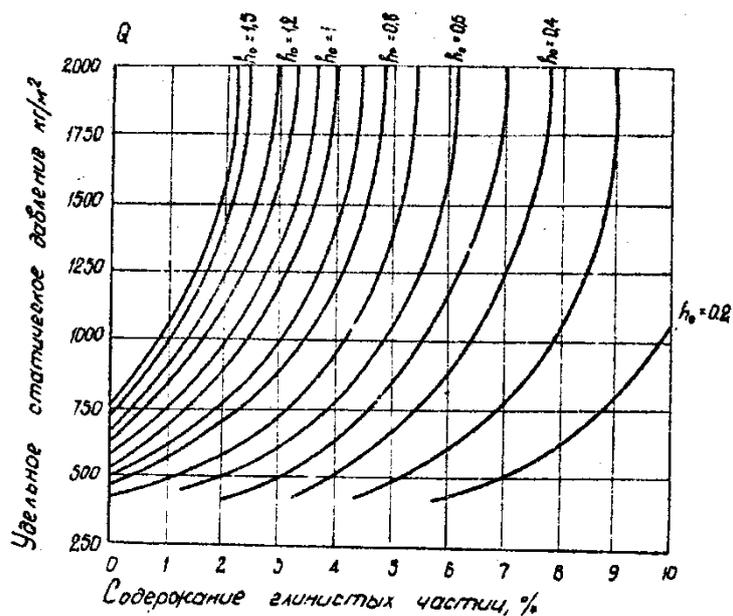
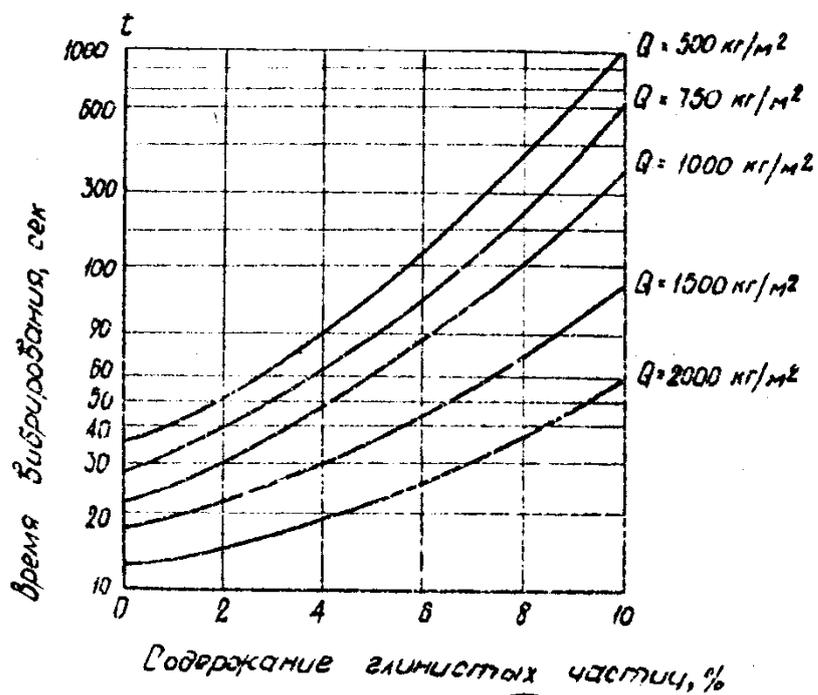


Рис. 4.2.2. Номограмма для определения времени вибрирования



## 4.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ОБРАТНЫМ ЗАСЫПКАМ

### Общие положения

**4.3.1.** Обратные засыпки осуществляют грунтами оптимальной влажности. Поэтому календарный график работ составляется на период когда естественная влажность грунта близка к оптимальной. В районах с влажным климатом эти работы следует производить во второй половине лета и начале осени, а в засушливых- в конце весны и впервой половине лета.

**4.3.2.** Подсушивание грунта производят естественным путем: разрыхлением плугами, дисковыми или пружинными боронами и тракторами-рыхлителями. Рыхлый грунт толщиной 30 - 40 см в жаркую погоду подсушивается в течение 2 - 3 дней. При подсушивании грунта в карьере или в резервах учитывают потери влаги при транспортировании и укладке с таким расчетом, чтобы влажность превышала на 2 - 3% оптимальную.

**4.3.3.** При необходимости уплотнения сильно увлажненного и деформированного транспортными средствами грунта рекомендуется:

а) при возможности смещения этого грунта бульдозером убрать его с рабочей карты на небольшое расстояние и завезти новый грунт с оптимальной влажностью:

б) при наличии резерва сухого грунта (лучше песчаного) с влажностью меньшей, чем оптимальная, подсыпать его и перемешать с переувлажненным грунтом дисковыми боронами до получения смеси с оптимальной влажностью.

Объем подсыпаемого грунта определяют по формуле

$$U_c = U_n \frac{W_n - W_o}{W_o - W_c} \quad (4.3.1)$$

где  $U_c$ - объем сухого грунта, м<sup>3</sup>:

$U_n$ - объем переувлажненного грунта, м<sup>3</sup>:

$W_n$ - весовая влажность переувлажненного грунта ( в долях единицы):

$W_o$  – оптимальная влажность грунта (в долях единицы):

$W_c$  – весовая влажность сухого грунта (в долях единицы):

в) укреплять переувлажненный грунта на глубину разжижения, используя в качестве стабилизирующей добавки моногидратную известь.

При этом известь равномерно распределяют по поверхности обрабатываемой площадки и перепахивают дисковыми боронами до получения однородной смеси. После боронования или на следующий день смесь грунта нужно уплотнить.

Примечания: 1. При влажности грунта, превышающей оптимальную на 6-15%, расход извести составляет примерно 4% (по весу смеси).

2. Расход уточняют пробным внесением извести в переувлажненный грунт.

**4.3.4.** В случае высокого уровня грунтовых вод, обратную засыпку производят после осушения засыпаемых выемок.

**4.3.5.** Увлажнение или доувлажнение грунтов, как правило, производят непосредственно в карьерах или резервах расчетным количеством воды, заливая её:

с поверхности при достаточных коэффициентах фильтрации грунтов (более 0,1 м/сут) и толщине слоя до 1м;

через скважины, заполненные песком, пройденные на 0,7...0,8 ниже глубины увлажненной толщи, через 3...5м одна от другой.

Количество воды, необходимое для доувлажнения грунта, определяется по формуле

$$Q = \frac{\rho_d}{\rho_B} (RW_0 - W)V,$$

где  $\rho_d$  - среднее значение плотности скелета уплотненного грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_B$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>;

$W_0$  - оптимальная влажность грунта, доли единицы;

$W$  - природная влажность грунта, доли единицы;

$V$  - объем увлажненного грунта, м<sup>3</sup>;

$K$  - коэффициент, учитывающий влияние климатических условий;

при замачивании через скважины он принимается равным 1;

при замачивании с поверхности грунта в летнее время при возможности испарения воды -1,1, а в дождливое время -0,9.

**4.3.6.** Увлажнение лессовидных грунтов производят в условиях естественного залегания, так как в разрыхленном состоянии они увлажнению не поддаются.

**4.3.7.** Грунты в резервах и карьерах увлажняют напуском воды на предварительно обвалованные карты или при помощи системы разбрызгивателей.

**4.3.8.** Поливку грунта в процессе его укладки при необходимости незначительного его доувлажнения производят машинами или с помощью разбрызгивателей из шлангов, подсоединяемых к трубопроводам. Время увлажнения грунта, которое необходимо для равномерного полива карты заданных размеров, определяют по формуле

$$t_n = \frac{Q_B}{R} \times S_k \times h, \quad (4.3.2)$$

где  $Q_B$  - количество воды, необходимое для доведения 1м<sup>3</sup> грунта до оптимальной влажности, м<sup>3</sup>;

$R$  - расходы воды из разбрызгивателя, м<sup>3</sup>/сек;

$S_k$  - площадь поливаемой карты, м<sup>2</sup>;

$h$  - толщина слоя грунта после разравнивания перед уплотнением, м.

**4.3.9.** Поливку грунта при его укладке выполняют в такой последовательности:

разрыхляют поверхность ранее уложенного слоя:

поливают разрыхленную поверхность с расходом одной трети воды потребной для увлажнения:

производят отсыпку грунта и черновое распределение его по рабочей карте:

поливают слой грунта, затем его перемешивают и разравнивают бульдозером.

**4.3.10.** Рыхление поверхности основания или ранее уплотненного грунта производят дисковыми боронами за 2-3 проходов по одному следу в пределах рабочей карты. При этом не допускается боронование поверхности грунта при уплотнении виброкатками и падающей трамбовкой, когда верхний слой уже разрыхлен. Не рекомендуется рыхлить поверхность песчаных грунтов.

В стесненных условиях рыхление не производится.

**4.3.11.** При устройстве резервов с целью сохранения в них естественной влажности необходимо соблюдать следующие требования:

а) располагать резервы на возвышенных местах во избежание их подтапливания поверхностными стоками:

б) тщательно планировать откосы и поверхность резервов. Верх резерва устраивать с уклонами не менее 4% от оси резерва к его краям:

в) устраивать водоотводные каналы или оградительное обвалование резервов.

**4.3.12.** При транспортировании грунта к месту работ автосамосвалы разгружают на уровне его укладки. Грунт разгружают сплошной отсыпью (при отсыпке слоя большой толщины) или отдельными полосами – при слоях меньшей толщины.

При невозможности заезда автосамосвалов на рабочую карту разгрузку осуществляют на откос выемке. При этом автосамосвал останавливают на расстоянии 1 м от откоса.

**4.3.13.** При подаче грунта на рабочую зону разгрузку автосамосвалов производят непосредственно в бункер грунтоукладчика.

**4.3.14.** Отсыпку грунта осуществляют слоями одинаковой толщины с целью обеспечения равномерного уплотнения. Необходимые замеры в процессе отсыпки производят металлическим щупом с нанесенными делениями.

**4.3.15.** Разравнивание слоев несвязных грунтов при уплотнении их самопередвигающимися вибротрамбовками выполняют особенно тщательно. При этом местные уклоны поверхности не должны превышать 10% вдоль движения уплотнителей и 5% - поперек движения.

**4.3.16.** При уплотнении песчаных грунтов гидровиброуплотнителями засыпку их в котлован производят слоями большой толщины (до 10 м) без тщательного выравнивания поверхности слоя.

**4.3.17.** Несвязные грунты, уплотняемые виброкатками и катками с гладкими вальцами, тщательно разравнивают и попутно уплотняют бульдозерами, так как движение катков по свежееотсыпанному грунту затруднено.

**4.3.18.** Для повышения эффективности уплотнения катками и уменьшения налипания грунта на вальцы и между кулачками, поверхность

уплотняемого слоя после предшествовавшего увлажнения следует посыпать песком.

**4.3.19.** Доуплотнение сравнительно плотных грунтов (особенно при недостаточной их влажности) рекомендуется производить пневмокатками тяжелого типа. Кулачковые катки для этой цели непригодны.

**4.3.20.** Для достижения равномерного уплотнения все слои из однородного грунта уплотняют одинаковым количеством проходов или ударов по одному следу.

**4.3.21.** Уплотнение каждого слоя грунта в пределах рабочей карты машинами, перемещающимися по уплотняемой поверхности, производят так, чтобы последующие проходы по одному следу производились после выполнения предыдущих на всей поверхности рабочей карты.

**4.3.22.** Во избежание пропусков при уплотнении грунта все последующие проходы должны «вразбежку» покрывать предыдущие. При этом параллельные следы проходов перекрывают друг друга на 0,05-0,1 м.

**4.3.23.** Уплотнение грунта трамбовочными плитами или гидромеханическими виброуплотнителями следует осуществлять концентрическими полосами. Для рационального использования этих механизмов ширина отдельных уплотняемых участков (при движении уплотнителей по оси уплотняемого участка) принимается - 1,4 радиуса действия стрелы крана. При этом угол между крайними положениями стрелы агрегата не должен превышать 90°.

**4.3.24.** Перемещение навесных уплотнителей на новую стоянку необходимо производить после окончания уплотнения грунта в пределах полосы (или двух-трех полос для крана). При этом верхний разрыхленный слой грунта доуплотняют легкими трамбовками, сбрасываемой с высоты 0,5-1,0 м.

**4.3.25.** При уплотнении грунта в непосредственной близости от зданий и сооружений следует определять силу воздействия из них грунтоуплотняющих машин\*.

**4.3.26.** Применение трамбуемых машин допускается при продольном уклоне уплотняемой поверхности до 18% и поперечном – не более 9%.

**4.3.27.** Уплотнение обратной засыпки из песчаных грунтов гидровиброуплотнителями производят при следующих условиях:

при непросадочных грунтах оснований сооружений;

наличии водоснабжения и электроснабжения площадки;

необходимости уплотнения больших концентрированных масс песка при слое значительной толщины 2-10 и более м;

допустимости интенсивного замачивания засыпок.

Для засыпок траншей, имеющих большую протяженность, гидровиброуплотнение не применяется. В зимнее время этот метод также неприемлем.

**П р и м е ч а н и е:** Это делают опытным путем с помощью сосуда с водой, прикрепляемого к конструкциям или устанавливаемого на грунт в месте его контакта с конструкциями. Колебание воды в сосуде указывает на наличие динамического воздействия на конструкции.

**4.3.28.** При устройстве засыпок из местных грунтов над проходными тоннелями и другими пустотелыми конструкциями при толщине слоя над ними

в I м допускается уплотнение грунта механизмами статического действия весом до 5 т и вибротрамбующими плитами весом до I т. Если толщина слоя над этими конструкциями составляет более I м, уплотнение грунта производят механизмами любого типа.

**4.3.29.** Необходимо соблюдать меры, предотвращающие увлажнение грунта поверхностными водами. В связи с этим обратные засыпки следует осуществлять сразу после устройства фундаментов подземных сооружений и прокладки коммуникаций.

**4.3.30.** Обратные засыпки, являющиеся основанием под фундамент, полы и другие конструкции, необходимо выполнять незадолго перед возведением сооружений, так как в результате длительного атмосферного воздействия их верхний слой разплотняется. Этот слой засыпок перед установкой фундаментов следует повторно уплотнить.

**4.3.31.** На выполнение обратных засыпок составляется проект производства работ, в котором разрабатывается технология поверхностного уплотнения грунта, выбор толщины отсыпаящих слоев, типа и режима уплотняющих механизмов, способа производства работ.

**4.3.32.** Технологические операции при поверхностном уплотнении грунта обратных засыпок должны выполняться в следующем порядке: послойная отсыпка, разравнивание и уплотнение грунта.

**4.3.33.** Для послойной отсыпки грунта на участке при производстве работ по устройству обратных засыпок следует применять одноковшовые экскаваторы или краны, оборудованные грейферным ковшом, экскаваторы-планировщики, оборудованные погрузочным ковшом, бадьи, транспортеры. При этом:

отсыпка грунта в пазухи, образованные сложными в плане фундаментами, должна осуществляться с помощью экскаваторов, оборудованных грейферным ковшом, экскаваторов-планировщиков, а также транспортеров;

отсыпка грунта в пазухи, доступ к которым прегражден возведенными конструкциями, должна осуществляться преимущественно системой транспортеров;

подача грунта в наружные пазухи котлованов и траншей при размещении его на бровках должна осуществляться бульдозерами.

**4.3.34.** Обратную засыпку котлованов и траншей в зимнее время следует производить талым грунтом.

Работы по устройству обратных засыпок необходимо производить с такой интенсивностью, чтобы укладываемый грунт не замерзал до окончания работ по его уплотнению.

**4.3.35.** Для послойного разравнивания грунта следует применять малогабаритные бульдозеры и экскаваторы-планировщики.

В местах, размеры которых исключают возможность применения указанных машин, разравнивание грунта следует выполнять вручную.

**4.3.36.** Послойное уплотнение грунта следует производить уплотняющими машинами и механизмами, указанными в таблице 4.3.1.

**4.3.37.** Уплотнение грунта в котлованах и траншеях с отдельно стоящими фундаментами под колонны необходимо начинать с зон вокруг фундаментов (подколонников).

**4.3.38.** При уплотнении грунта вблизи строительных конструкций подвесной (на тросе) тяжелой трамбовкой не допускается ее раскачивание.

**4.3.39.** Поверхностное уплотнение грунта подвесными к кранам и экскаваторам трамбовками, виброплитами и вибротрамбовками следует производить в два приема: предварительное уплотнение грунта по всей площади уплотняемого участка, а затем окончательное – до требуемой плотности скелета грунта.

**4.3.40.** В местах обратных засыпок с разными уровнями участков начинать уплотнение грунта следует на пониженных участках.

**4.3.41.** При соблюдении условия  $M \leq 5m$  (где  $M$  – масса 1м длины линейных строительных конструкций или общая масса отдельно стоящих строительных конструкций, а  $m$  – масса уплотняющей машины или механизма) засыпку следует производить одновременно с двух (или более) сторон конструкции, а при  $M \geq 5m$  – поочередно.

**4.3.42.** При возведении объектов со сложными фундаментами под оборудование и подземными сооружениями, образующими в плане систему замкнутых полостей, тупиковых и узких проходов, обратные засыпки следует выполнять сразу после окончания работ по монтажу конструкций, подлежащих засыпке, и устройству их гидроизоляции.

**П р и м е ч а н и е.** В труднодоступных местах уплотнение грунта следует производить ручным немеханизированным инструментом. Допускается труднодоступные места засыпать песчаным грунтом с последующим замачиванием его, кроме мест, основания которых сложены просадочными грунтами II типа.

### Глубина уплотнения различными уплотняющими механизмами

Таблица 4.3.1

Механизм	Толщина слоя в уплотненном состоянии на грунтах, м		Число проходов (ударов трамбовки)
	Песчаных, гравелистых	Глинистых	
1	2	3	4
Пневмокатки массой 25т	0.5	0.5	10...12
Тоже 40т	0.6	0.7	10...12
Груженые автомашины			
БелАЗ	0.6	0.7	8...10
КрАЗ	0.5	0.9	10...12
МАЗ	0.4	0.4	10...12
Трамбовки:			
диаметром 1.2м, массой 2.5т	2.2	2	10...12
диаметром 1.4м, массой 3.5т	2.6	2.4	10...12
диаметром 1.6м, массой 4.5т	3.0	2.7	10...12
диаметром 2.0м, массой 6т	3.6	3.2	10...12
Трактора Т-100, Т-140	0.3	0.2	8...10

Механизм	Толщина слоя в уплотненном состоянии на грунтах, м		Число проходов (ударов трамбовки)
	Песчаных, гравелистых	Глинистых	
Трамбующие машины Д-471	1.2	1.0	2...3
Вибрационные, виброударные машины, массой до 0.5т	0.5	0.15	2...3
Тоже, массой 1т	0.7	0.2	2...3
Тоже, массой 1.5т	1.0	0.3	2...3
Виброкатки массой до 2т	0.7	0.3	2...3
Тоже массой до 5т	1.0	0.4	2...3
Станки ударно-канатного бурения для глубинного уплотнения	-	10...12	-

### **Выполнение обратных засыпок котлованов с установленными фундаментами и колоннами**

**4.3.43.** Засыпку котлованов с установленными фундаментами и колоннами необходимо выполнять, руководствуясь указаниями пп. 4.3.44-4.3.50.

**4.3.44.** Подачу грунта осуществляют автосамосвалами грузоподъемностью не более 5т. При шаге колонн 12м и более, когда установленные фундаменты не препятствуют движению транспорта, отсыпку грунта ведут, начиная с дальних точек котлована, «на себя». При этом автосамосвал движется по основанию, на которое производится укладка слоя.

Отсыпку производят полосами вдоль пролета, с расстояниями между конусами отсыпки, определяемыми расчетом в зависимости от толщины отсыпаемого слоя грунта.

**4.3.45.** При 6-метровом шаге колонн и расположении фундаментов, препятствующих движению автосамосвалов, отсыпку грунта в нижние слои обратной засыпки производят «головным способом» с движением по отсыпаемым слоям. При наезде автосамосвалов на ступени фундаментов толщина слоя грунта (в рыхлом состоянии) под колесами должна быть не менее 0,3м.

**4.3.46.** Послойное разравнивание грунта выполняют бульдозерами малогабаритными и микробульдозерами, а в местах, недоступных для их использования (ширина просвета между фундаментами менее 0,9м), вручную.

**4.3.47.** При отсыпке грунта по схеме, описанной в п.4.3.45, грунт в нижележащие слои подается малогабаритным бульдозером на расстояние до 10м.

**4.3.48.** Уплотнение грунта, выполняемое в стесненных местах электротрамбовками или вибротрамбующими плитами производят на отдельных участках длиной до 10м параллельными проходками. При этом в первую очередь грунт уплотняют в непосредственной близости от фундаментов колонн, затем – в промежутках между ними.

**4.3.49.** Для уплотнения грунта выше фундаментов колонн следует использовать самоходные кулачковые, катки вибрационные катки, тракторы с наваренными на траки кулачками. Уплотнение производят по челночной схеме.

**4.3.50.** Обратную засыпку котлована песчаными грунтами при залегании в основании фундаментов непросадочных дренирующих грунтов и наличии дешевого источника водоснабжения рекомендуется выполнять путем послойной укладки (слоями толщиной 0,2м) и обильной поливу водой, создающей эффект гидронамыва.

### **Выполнение обратных засыпок котлованов при сложных в плане фундаментах**

**4.3.51.** Обратную засыпку пазух котлована при сложных в плане фундаментах и подземных конструкциях, образующих в плане систему замкнутых полостей, тупиков и коридоров, исключающих применение крупногабаритных механизмов, следует выполнять в соответствии с ниже предвиденными рекомендациями после возведения подземной части здания или сооружения, расопалубования и выполнения гидроизоляционных работ.

**4.3.52.** Грунт, подвозимый на площадку автосамосвалами, загружают в приемный бункер грунтоукладчика, установленного на бровке котлована, который подает его к месту укладки слоями заданной толщины. Равномерное распределение грунта производят гибким «хоботом» подвешенным к концу подающего транспортера.

**4.3.53.** Слой грунта отсыпают в пределах контура ближайшего к стоянке грунтоукладчика. Затем агрегат перемещается к следующему контуру и далее в пределах действия (до 20м от оси вращения).

**4.3.54.** Расстояние между стоянками грунтоукладчика принимают в  $\frac{1}{2}$  максимального радиуса его действия, а угол между крайними положениями оси транспортера должен быть не более  $90^\circ$ .

Для подачи грунта на отдаленные участки производят засыпку наружной пазухи котлована, чтобы приблизить стоянки грунтоукладчика к засыпаемому участку.

**4.3.55.** При засыпке пазух фундаментов с различной глубиной заложения в первую очередь выполняют работы в пределах участка с пониженными отметками до достижения общего уровня, затем работы ведут по всему котловану.

**4.3.56.** Уплотнение грунта производят с помощью крана, установленного на бровке котлована. При этом, с вибротрамбовкой, двигаясь за грунтоукладчиком вдоль котлована, уплотняют отсыпаемые им слои грунта.

В первую очередь необходимо уплотнять грунт в непосредственной близости от подземных конструкций, затем в середине уплотняемого поля.

**4.3.57.** При тонкостенных подземных конструкциях для уменьшения бокового давления на конструкции уплотнение слоев грунта производят уменьшенной толщины.

**4.3.58.** В случае, когда вылет стрелы крана не позволяет произвести уплотнение грунта по всей ширине участка с бровок котлована, необходимо выполнить весь объем работ (до проектных отметок) в зоне действия крана, затем используя деревянный настил, переместить кран для выполнения оставшегося объема работ.

**4.3.59.** При заполнении грунтом полостей с размерами менее 0,7м, в которые невозможно ввести вибромолот, уплотнение его производят ручными электротрамбовками или вручную.

**4.3.60.** Обратную засыпку пазух котлована при сложных в плане фундаментах и подземных конструкциях, образующих замкнутые полости, тупики и узкие коридоры, и установленных конструкциях надземной части следует выполнять в соответствии с рекомендациями п. 4.3.61.

**4.3.61.** Перед уплотнением каждый слой грунта необходимо тщательно разравнивать микробульдозером или вручную. При выполнении работ в замкнутых контурах перестановку уплотнителей на очередной участок производят краном.

Послойное уплотнение грунта выполняют вибротрамбовочными плитами или электротрамбовками.

## **4.4. ОПЫТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТОВ**

**4.4.1.** Опытное уплотнение обратных засыпок производят до начала или в процессе устройства обратных засыпок с целью уточнения:

толщины уплотняемого слоя грунта для принятых машин и механизмов;  
необходимого количества проходов (ударов) по одному следу для получения требуемой плотности;

значения оптимальной влажности для используемых видов грунтов;  
тарифовки устройств для контроля плотности укладываемой обратной засыпки.

**4.4.2.** Опытное уплотнение должно производиться всеми типами грунтоуплотняющих машин по каждому виду грунта.

**4.4.3.** При одинаковых грунтах на объекте опытное уплотнение производят в одном-двух местах.

**4.4.4.** Площадки для опытного уплотнения выбираются в наиболее характерных условиях комплекса сооружений в стороне от застраиваемых участков.

**4.4.5.** Основание опытной площадки должно быть доведено до плотности, принятой в проекте. Размеры площадки принимаются:

при уплотнении трамбованием – 2 × 6м; или не менее 5 диаметров трамбовки.

при уплотнении укаткой – 6 × 12м.

**4.4.6.** Опытное уплотнение производят при трех значениях влажности грунтов, равных  $W_1=W_0$ ,  $W_2=1,2W_0$ ;  $W_3=0,8W_0$ , где  $W_0$  – оптимальная влажность грунта, ориентировочно принимается по таблице 4.1.3 настоящего

раздела Рекомендаций или определяется прибором стандартного уплотнения по РСТУз786-97.

**4.4.7.** Толщина уплотняемых слоев принимается равной  $h_1=N$ ;  $h_2=1,2N$  и  $h_3=0,8N$ , где  $N$ - ориентировочная величина уплотняемого слоя грунта таблица 4.2.4.

**4.4.8.** Оптимальное уплотнение производят тремя вариантами проходов катков с 6,8 и 10 или 8,10 и 12 ударами трамбовки по одному следу.

**4.4.9.** После уплотнения грунта на каждом пункте опытного участка для определения плотности скелета грунта и влажности отбирают не менее двух проб (через 20см) по глубине в верхней и нижней зонах уплотненного слоя.

**4.4.10.** Опытное уплотнение совмещают с отработкой способа контроля плотности грунта при помощи устройств для динамического или статического зондирования (РСТ Уз 739-96; РСТ Уз 740-96).

## **4.5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРИЕМКА РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ОБРАТНЫХ ЗАСЫПОК**

**4.5.1.** Возведение обратных засыпок котлованов и траншей включает достаточно большой комплекс работ. В этих условиях необходимо качественное выполнение всех видов работ. Поэтому при возведении обратных засыпок котлованов и траншей следует осуществлять систематический пооперационный контроль за:

качеством выполненных работ по подготовке дна котлованов и поверхности для возведения обратных засыпок;

соответствием отсыпаемого грунта принятому в проекте производства работ или в технологической схеме их выполнения, однородностью грунта, наличием гумусированного или почвенного слоя органических включений, строительного мусора, комьев мерзлого или переувлажненного грунта и т.п.;

толщиной отсыпаемых слоев грунта, путем нивелирования или погружения в него металлического щупа;

влажностью отсыпаемого грунта;

соответствием типа и веса грунтоуплотняющих механизмов, принятым в проекте или в технологической схеме производства работ;

числом проходов (ударов) грунтоуплотняющих механизмов;

степенью плотности уплотненного грунта.

**4.5.2.** Степень плотности уплотненных грунтов оценивается по плотности скелета, которая может определяться методами:

а) парафинированием отобранных проб грунтов из приямков и шурфов;

б) режущего кольца в приямках и шурфах;

в) радиоактивных изотопов поверхностными приборами;

г) радиоактивных изотопов в скважинах;

д) зондированием песчаных грунтов.

Первые три метода используются, как правило, при толщине отсыпаемых слоев до 1м, а последние – при толщине уплотненного слоя более 1-2м.

**4.5.3.** При контроле качества уплотнения грунтов плотность скелета их определяется в каждом намеченном пункте при толщине уплотненного слоя: до 50см – в середине слоя; 50...80см – на двух горизонтах, расположенных на расстоянии 10...15см от верха и низа слоя; 1,5...2,5м – 50см по глубине; более 3м – в пределах верхнего слоя на глубину 2м через 0.5м, а ниже через 1м по глубине.

**4.5.4.** Контроль качества уплотнения грунтов с толщиной слоя до 2.5м во многих случаях целесообразно осуществлять по отказу. При этом уплотнение признается удовлетворительным, если отказ при одном ударе трамбовки диаметром 1,2-1,4м и массой 2,5-3,5т при высоте сбрасывания 3,5-4м не превышает на глинистых грунтах 3-4см. Контроль качества уплотнения грунтов по отказу оформляется соответствующим актом или записью в журнале производства работ.

При отсутствии данных послойного контроля проверяют степень плотности отсыпанных грунтов одним из принятых методов из расчета одного шурфа или скважины на каждые 300...500м<sup>2</sup> уплотненной площади или на каждые 200м<sup>3</sup> уплотненного грунта.

**4.5.5.** При уплотнении грунта засыпок свободно подающими трамбовками, качество уплотнения допускается определять по фактическому понижению уплотняемой поверхности, величина которой за последний удар не должна превышать 2см.

**4.5.6.** Допускается отклонение фактической (достигнутой) плотности скелета грунта от проектной не более чем на 0,03 г/см<sup>3</sup> в 10% отобранных проб. Коэффициент уплотнения не должен отклоняться от проектного в меньшую сторону, более чем на 2%.

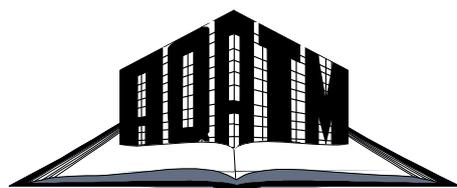
При несоблюдении указанных требований надлежит уточнять технологию уплотнения грунтов обратной засыпки и типы грунтоуплотняемых машин и механизмов.

**4.5.7.** Сдача-приемка выполненных работ по обратным засыпкам котлованов производится комиссией по данным журнала производства работ.

**4.5.8.** Наблюдения за качеством работ по уплотнению осуществляется заказчиком, технической инспекцией, авторским надзором, геотехнической или строительной лабораторией с соответствующими записями в журнале производства работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В.П. Техническая мелиорация лессовых грунтов.
2. Дуллер И.Л. Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов. М. Стройиздат, 1984г.
3. Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов, М.Л. Госэнергоиздат, 1962г.
4. Инструкция по устройству обратных засыпок грунтов в стесненных местах СН 536-81. М. Стройиздат . 1982г.
5. КМК 2.01.03-96 Строительство в сейсмических районах.
6. КМК 1.02.07-97 Инженерные изыскания в строительстве.
7. КМК 3.02.01-97 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
8. КМК 2.06.04-97 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения.
9. КМК 2.02.01-98 Основания зданий и сооружений.
10. КМК 02.02-98 Основания гидротехнических сооружений.
11. Крутов В.И. Эйдин Р.П. Устройство обратных засыпок, М. Стройиздат, 1981г.
12. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. М. Энергоиздат, 1959г.
13. Методические указания по оценке динамической (сейсмической) устойчивости водонасыщенных грунтов в лабораторных условиях (ХПЛИТИ, 2000г.).
14. Отчет НИР за 2000-2002гг по разработке динамической устойчивости водонасыщенных грунтов (ЗПЛИТИ).
15. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83).
16. Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83).
17. Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтов оснований, Т. «Узбекистан», 1984г.
18. РСТ Уз25100-95 (ГОСТ 25100-95). Грунты. Классификация.
19. Рекомендации по строительству на просадочных грунтах в условиях Узбекской ССР, УзНИИТИ, Ташкент – 1979г.
20. Руководство по устройству обратных засыпок на строительстве предприятий металлургической промышленности. Донецк, 1974г.
21. СН 31-58 Инструкция по поверхностному уплотнению грунтов оснований зданий и промышленных сооружений тяжелыми трамбовками.
22. Схема районирования территории РУз по грунтовым условиям для градостроительства, планирования и расселения. ЗПЛИТИ, Ташкент 2002г.
23. Указания по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений возводимых на насыпных грунтах СН 360-66, М. Стройиздат, 1967г.
24. Усманходжаев И.И., Частоедов Ю.Н. Районирование территории Узбекистана по инженерно-геологическим условиям. АКАТМ. Т, 2007г.
25. Цытович Н.А. Механика грунтов, М Стройиздат, 1963г.



Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ . Условный печатный лист 7,75 (124 стр).

Отпечатано в ИВЦ «АҚАТМ»

Госархитектстроля Республики Узбекистан

г.Ташкент. ул Абай,6

тел.: 244-04-26 факс: 244-79-11