

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА УПЛОТНЕННОГО ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ

*Рассмотрены специальные мероприятия, позволяющие исключить неравномерные и чрезмерные осадки фундаментов зданий, расположенных на слабых грунтах. Установлены случаи некачественного устройства уплотненных оснований, неэффективного использования грунтоуплотняющих машин, удорожания строительства и увеличения сроков выполнения работ. Приведены требования к устройству грунтовых (песчаных) подушек. Описаны результаты натурных исследований технологий уплотнения песчаных грунтов вибрационными катками.*

**Ключевые слова:** здание, деформации, основание, песок, каток, подушка, технология, уплотнение

Исследования причин разрушения и деформирования зданий и сооружений показывают, что во многих случаях в процессе проектирования и строительства не учитываются особенности устройства проектирования и устройства оснований на территориях со слабыми грунтами (насыпные грунты, рыхлые пески, водонасыщенные глинистые грунты и т.д.). На таких территориях должны быть рассмотрены специальные мероприятия, позволяющие исключить неравномерные и чрезмерные осадки фундаментов зданий, расположенных на слабых грунтах, необходимо рассмотреть возможные техногенные воздействия на грунты.

Одним из специальных мероприятий является устройство уплотненных песчаных оснований. На многочисленных объектах строительства установлены случаи некачественного устройства уплотненных оснований, неэффективного использования грунтоуплотняющих машин, удорожания строительства и увеличения сроков выполнения работ [1-7].

Анализ научно-технической литературы и действующих нормативных документов РФ по строительству показал, что в них приведены основные требования к проектированию и устройству уплотненных оснований. Многие позиции действующих в настоящее время нормативных документов РФ по строительству устарели и не отвечают современному уровню развития строительной отрасли. В них отсутствуют указания по использованию современных высокоэффективных грунтоуплотняющих машин, особенности учета разновидности песков при круглогодичном производстве работ, составу проектов уплотненных оснований, по назначению и определению необходимых прочностных и деформационных характеристик уплотненных оснований, а также по виброзащите существующих сооружений от работы виброкатков.

Анализ научно-технической литературы и нормативных документов показал, что в них отсутствуют конкретные указания, нормативы или данные исследований, позволяющие обосновать эффективность устройства уплотненных оснований, вид и разновидность грунтов для уплотнения с учетом сегодняшних возможностей высококачественного проектирования и наличия современных высокоэффективных строительных машин и оборудования.

Для исключения вышеуказанных недостатков по результатам дополнительных теоретических, лабораторных и натурных исследований должна быть разработана технология устройства

уплотненных оснований, учитывающая конструктивные особенности зданий, специфические свойства замещаемых грунтов и грунтов ниже уровня подошвы уплотненных оснований, результаты изучения физических основ уплотнения разных грунтов различными катками, а также факторы, влияющие на уплотняемость грунтов и оптимальные условия, при которых достигается наибольшая эффективность уплотнения грунтов. Для повышения эффективности устройства уплотненных грунтовых оснований зданий и сооружений и для обеспечения их проектных значений прочностных и деформационных характеристик, имеющиеся технологии должны быть дополнены и усовершенствованы на основе новых исследований уплотняемости грунтов с использованием современных высокоэффективных грунтоуплотняющих машин и механизмов.

Для обеспечения эффективности проектируемых строительных работ устройство грунтовых (песчаных) подушек в основании зданий и сооружений должно быть обосновано:

- наличием слабых грунтов, с низкими значениями физико-механических характеристик, приводящими к осадкам, превышающими нормативные значения от нагрузок, передаваемых фундаментами возведенных сооружений;
- наличием грунтов (песчаных и глинистых) для укладки и уплотнения при устройстве уплотненного основания;
- наличием строительной базы, в первую очередь, различных катков, соответствующих по техническим параметрам к разновидностям уплотняемых грунтов;
- возможностью качественной разработки проектов уплотненных оснований, организации строительства (ПОС) и производства работ (ППР);
- возможностью использования катков в стесненных условиях, так как вибрационные воздействия могут вызвать дополнительные осадки грунтов, расположенных ниже подошвы устраиваемого уплотненного основания или в основании существующих зданий, попадающих в зону влияния строительства.

Без учета вышеуказанных положений устройство уплотненного основания зданий и сооружений является неэффективным решением.

Ниже приводятся результаты натурных исследований технологий уплотнения песчаных грунтов при устройстве уплотненных оснований строящихся зданий. Основные задачи исследований заключались в установлении уплотняемости разновидностей песка при различных толщин уплотняемого слоя и массе грунтоуплотняющих машин - вибрационных катков. Исследовалась уплотняемость следующих песков: крупный, средней крупности и мелкий. Толщина уплотняемых слоев песка: 0,9 м, 1,2 м. Для уплотнения песка применялись вибрационные катки - Bomag213D (масса  $\approx 13$  т), Bomag216D (масса  $\approx 16$  т) и Bomag219D (масса  $\approx 19$  т). Режимы работы катков: статика, низкое значение вибрации, максимальное значение вибрации. Количество проходов катка – 8, 10, 12, 14 и 16 раз. Скорость движения катков: первый проход катка - прикатка (статика - без вибрации)  $\sim 1,0$  км/час; - второй и следующие проходы – уплотнение (максимальная вибрация)  $\sim 2,0 \dots 2,5$  км/час; - последний проход (статика - без вибрации)  $\sim 1,0$  км/час.

Ниже приводятся основные характеристики уплотненных песков.

Песок крупный:

- естественная влажность песка – 6,2 %, 12,6 % и 16,7%;
- максимальная плотность сухого грунта -  $\rho_{\text{дmax}} = 1,86 \text{ г/см}^3$ ;

- оптимальную влажность -  $w_{\text{опт}} = 12,4\%$ ;
- принятый коэффициент уплотнения -  $k_{\text{ком}} = 0,98 \dots 1,00$ ;
- необходимое значение плотности сухого грунта (крупного песка) по глубине -  $\rho_{\text{дком}} = 1,82 \dots 1,86 \text{ г/см}^3$ ;

Песок средней крупности:

- естественная влажность песка – 6,6%, 12,8 % и 15,8 %;
- максимальная плотность сухого грунта -  $\rho_{\text{дmax}} = 1,85 \text{ г/см}^3$ ;
- оптимальную влажность -  $w_{\text{опт}} = 12,7\%$ ;
- принятый коэффициент уплотнения -  $k_{\text{ком}} = 0,98 \dots 1,00$ ;
- необходимое значение плотности сухого грунта (песка средней крупности) по глубине -  $\rho_{\text{дком}} = 1,81 \dots 1,85 \text{ г/см}^3$ .

Ниже приводится оценка результатов натуральных исследований.

Расчет коэффициента уплотнения песка был выполнен исходя из полученных значений плотности сухого грунта (песка) уплотненного слоя  $\rho_{\text{д}}$  и максимального значения плотности сухого грунта (песка) -  $\rho_{\text{дmax}}$ , полученного при стандартном уплотнении в лабораторных условиях. Для крупного и мелкого песков значение плотности сухого грунта (песка) уплотненного слоя было принято равным  $\rho_{\text{д}} = 1,82 \text{ г/см}^3$  для определения области распространения коэффициент уплотнения -  $k_{\text{ком}} \geq 0,98$ :

- $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} = 1,82 \text{ г/см}^3 : 1,86 \text{ г/см}^3 = 0,98$ .

Для песка средней крупности значение плотности сухого грунта (песка) уплотненного слоя было принято равным  $\rho_{\text{д}} = 1,81 \text{ г/см}^3$ , для определения области распространения коэффициент уплотнения -  $k_{\text{ком}} \geq 0,98$ :

- $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} = 1,81 \text{ г/см}^3 : 1,85 \text{ г/см}^3 = 0,98$ .

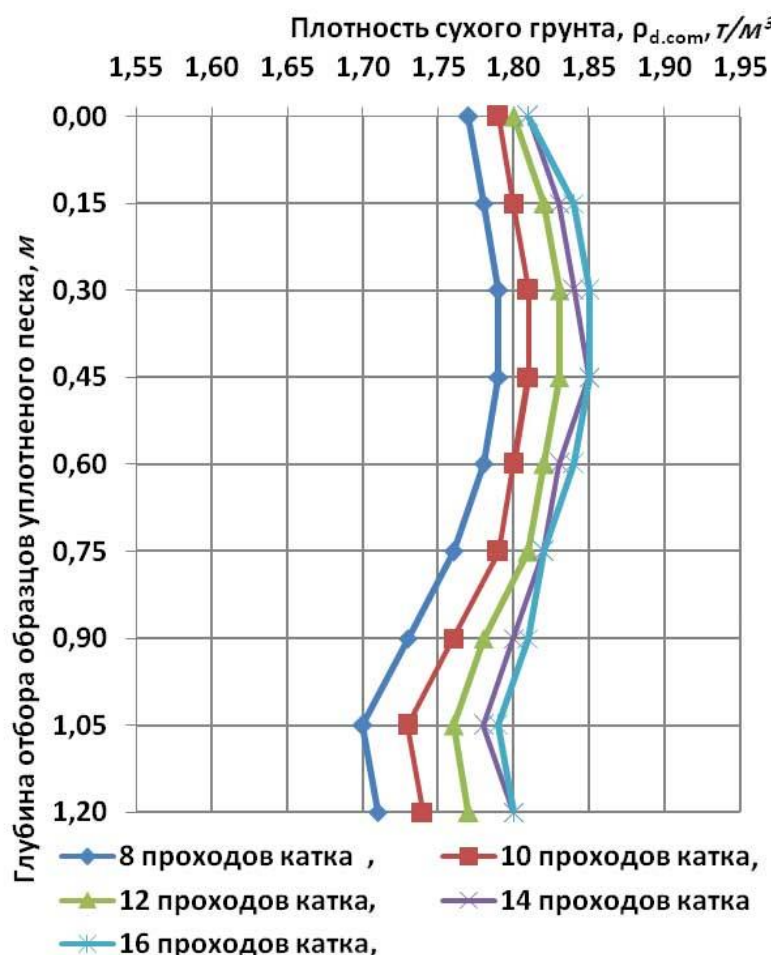
При уплотнении крупного песка толщиной 1,2 м, естественной влажности – 12,6 %, вибрационным катком массой 19 т, количестве проходов катка - 14 и 16 раз, коэффициенте уплотнения -  $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет 0,75 м от поверхности (рис. 1).

Толщина недоуплотненной зоны составляет 0,45 м.

При уплотнении крупного песка толщиной 0,9 м, при естественной влажности – 12,6 %, вибрационным катком массой 19 т, при количестве проходов катка – 14 и 16 раз, при коэффициенте уплотнения -  $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет 0,90 м от поверхности (рис. 2).

При этом вся толща была уплотнена.

Для вибрационного катка массой 19 т увеличение толщины уплотняемого слоя приводит к уменьшению толщины уплотненного слоя с максимальными значениями плотности ( $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} \geq 0,98$ ). Было установлено, что уменьшение массы вибрационного катка приводит также к уменьшению толщины уплотненного слоя песка с максимальными значениями плотности ( $k_{\text{ком}} = \rho_{\text{д}} / \rho_{\text{дmax}} \geq 0,98$ ). Такая закономерность установлена и для других разновидностей песка.



*Рис. 1. Графики изменения плотности уплотненного песка крупного по глубине (влажность песка -  $w=12,6\%$ , масса вибрационного катка -  $19\text{ т}$ )*

При уплотнении крупного песка толщиной  $0,9\text{ м}$ , естественной влажности -  $12,6\%$ , вибрационным катком массой:  $13, 13$  и  $19\text{ т}$ , количестве проходов катка -  $16$  раз, коэффициенте уплотнения -  $k_{com} = \rho_d / \rho_{dmax} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет (рис. 3):

- $0,53\text{ м}$  - от поверхности при массе катка  $13\text{ т}$ ;
- $0,75\text{ м}$  - от поверхности при массе катка  $16\text{ т}$ ;
- $0,90\text{ м}$  - от поверхности при массе катка  $19\text{ т}$ .

Толщина недоуплотненной зоны составляет:

- $0,37\text{ м}$  - при массе катка  $13\text{ т}$ ;
- $0,15\text{ м}$  - при массе катка  $16\text{ т}$ .

При уплотнении среднего песка толщиной  $0,9\text{ м}$ , естественной влажности -  $12,8\%$ , вибрационным катком массой  $19\text{ т}$ , при количестве проходов катка -  $14$  и  $16$  раз, коэффициенте уплотнения -  $k_{com} = \rho_d / \rho_{dmax} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет  $0,90\text{ м}$  от поверхности. Вся толща была уплотнена.

При уплотнении мелкого песка толщиной  $0,9\text{ м}$ , при естественной влажности -  $13,2\%$ , вибрационным катком массой  $19\text{ т}$ , количестве проходов катка -  $14$  и  $16$  раз, коэффициенте уплотнения -  $k_{com} = \rho_d / \rho_{dmax} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет  $0,60\text{ м}$  от поверхности. Толщина недоуплотненной зоны составляет  $0,30\text{ м}$ .

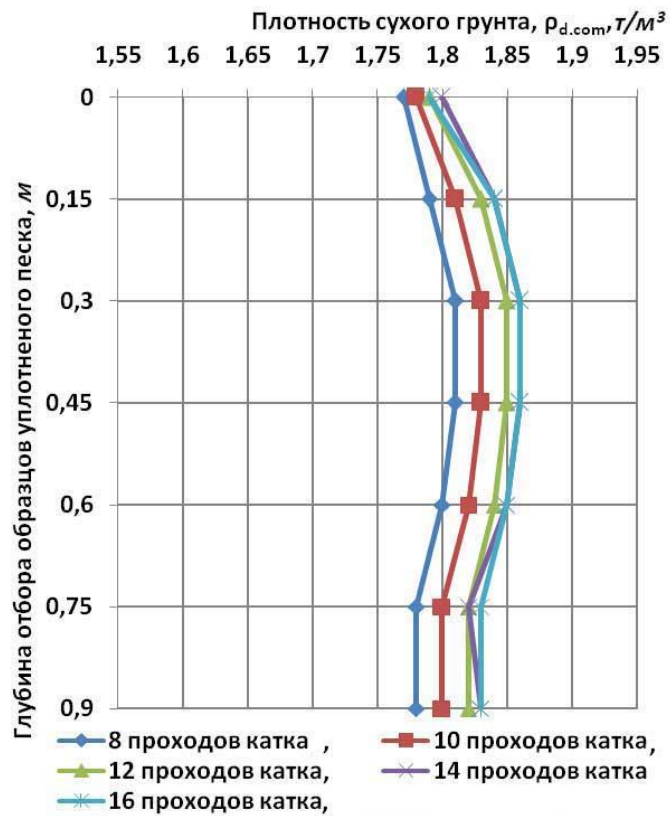


Рис. 2. Графики изменения плотности уплотненного песка крупного по глубине (влажность песка -  $w=12,6\%$ , масса вибрационного катка - 19 т)

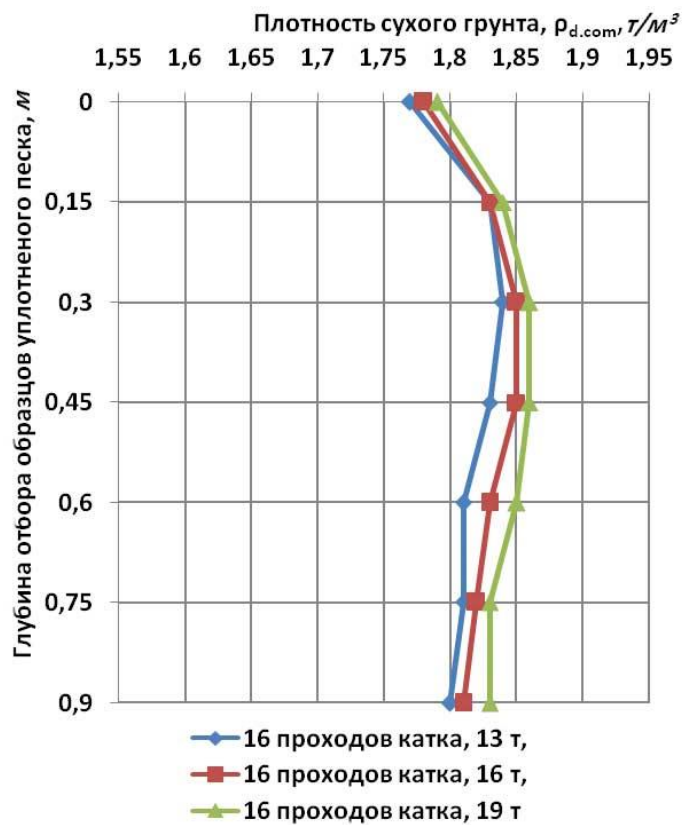


Рис. 3. Графики изменения плотности уплотненного песка крупного по глубине (влажность песка -  $w=12,6\%$ , масса вибрационного катка - 13, 16 и 19 т)

При уплотнении песков: крупного, средней крупности и мелкого, естественной влажности, близкой к оптимальной влажности – 12,6%, 12,8% и 13,2%, вибрационным катком массой 19 т, количестве проходов катка – 16 раз, уплотнении слоя толщиной 0,90 м, коэффициенте уплотнения -  $k_{com} = \rho_d / \rho_{dmax} \geq 0,98$  глубина уплотнения составляет:

- 0,90 м - для песка крупного (вся толща уплотнена);
- 0,90 м - для песка средней крупности (вся толща уплотнена);
- 0,60 м - для песка мелкого (толщина недоуплотненной зоны - 0,30 м).

Результатами исследований было установлено, что эффективность использования вибрационных катков зависит от их массы, режимов вибрационных воздействий, разновидности уплотняемого песка, количества проходов и скорости движения катка. Для каждого объекта на строительной площадке должно быть опытное уплотнение песка. При этом могут быть внесены корректировки в ранее принятые предварительные технологические решения.

Исследования показали, что ошибки, допущенные при инженерных изысканиях, проектировании и устройстве уплотненных оснований, привели к увеличению сроков выполнения работ, удорожанию строительства, повторному уплотнению грунтов, корректировке проектных решений. Для повышения эффективности устройства уплотненных грунтовых (песчаных) оснований зданий и сооружений и для обеспечения их проектных значений прочностных и деформационных характеристик имеющиеся технологии должны быть дополнены и усовершенствованы на основе новых исследований уплотняемости грунтов с использованием современных высокоэффективных грунтоуплотняющих машин и механизмов. В предложенных технологиях должны быть установлены пределы применения статических и вибрационных катков, особенно в стесненных условиях строительства.

По результатам комплекса исследований была предложена технология устройства уплотненных песчаных оснований, учитывающая конструктивные особенности зданий, специфические свойства уплотняемых разновидностей песка, особенности работы различных катков, а также факторы, влияющие на уплотняемость грунтов, при которых достигается наибольшая эффективность уплотнения грунтов. Предложенная технология позволяет обеспечивать качественное возведение новых зданий и эксплуатационную пригодность зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния строительных работ на площадках со слабыми грунтами.

**Ա.Ա.Ուստինով**

**ՀԵՆՔԵՐԻ ԽՏԱՑՎԱԾ ԱՎԱԶԵ ՀԻՄՔԵՐԻ ՏԵՂԱԴՐՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ  
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ**

*Դիտարկվել են հատուկ միջոցառումներ, որոնք հնարավորություն են տալիս բացառել թույլ գրունտների վրա տեղադրված շենքերի հիմնատակերի անհավասարաչափ և չափից շատ նստումները: Բացահայտվել են խտացված հիմքերի անորակ տեղադրումներ, գրունտախտացնող մեքենաների ոչ արդյունավետ օգտագործման, շինարարության թանկացման և աշխատանքների կատարման ժամկետների խախտման դեպքեր: Բերված են գրունտային (ավազե) բարձիկների տեղադրմանը ներկայացվող պահանջները: Նկարագրված են թրթռազդրոններով ավազե հիմքերի խտացման տեխնոլոգիաների բնապայման հետազոտությունների արդյունքները:*

**INVESTIGATING THE EFFICIENT TECHNOLOGIES OF THE PACKED SAND BASE  
ARRANGEMENT OF BUILDINGS**

*Special measures, allowing to exclude the non-uniform and excessive setting of the building base located on soft grounds are considered. Cases of low-quality arrangement of the packed bases, inefficient application of ground-packing machines, a rise in the construction costs and an increase of the time of carrying, out the works are revealed. Requirements set to the arrangement of ground (sand) cushions are introduced. The results of natural investigations of the sand ground-packing technologies by vibration rollers are described.*

**Keywords:** *building, deformations, base, sand, roller, cushion, technology packing*

**Литература**

1. Эффективность уплотнения насыпных песчаных грунтов гладким вибрационным катком // **М.Ю. Абелев, И.В. Аверин, Т.А. Вашаломидзе, А.А. Устинов** // Промышленное и гражданское строительство. - 2012. - № 6. - С. 59-62.
2. **Абелев Ю.М., Абелев М.Ю.** Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. - М.: Стройиздат, 1979. - 271 с.
3. **Вашаломидзе Т.А., Филимонов Е.А., Устинов А.А.** Современные технологии устройства уплотненных грунтовых оснований при строительстве зданий и сооружений в стесненных условиях // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. - №12. - С. 50-53.
4. **Коновалов П.А.** Основания и фундаменты реконструируемых зданий. - М.: ВНИИТПИ, 2000. - 308 с.
5. **Костельов М.П.** Возможности и эффективность уплотнения виброкатками грунтов различного типа и состояния // Информационно-строительный портал. Дорожная техника. - Санкт-Петербург, 2004.
6. **Крутов В.И.** Основания и фундаменты на насыпных грунтах. - М.: Стройиздат, 1988. - 224 с.
7. **Луняков М.А., Козьмодемьянский В.Г., Устинов А.А.** Результаты исследований эффективных технологий обеспечения безопасности зданий, расположенных вблизи источников вибрационных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - №5. - С. 62-64.

**Ուստինով Անդրեյ Ալեքսանդրի** (ԲԴ, ք.Մոսկվա) - «ՏրանսՅուՋՏրոյ-Արենա» ՍՊԸ, գործադիր տնօրեն, 89139758609, andrey.ustinov@icloud.com.

**Устинов Андрей Александрович** (РА, г.Москва) - ООО “ТрансЮжСтрой-Арена”, исполнительный директор, 89139758609, andrey.ustinov@icloud.com.

**Ustinov Andrey Alexander** (RF, с. Moscow) - ООО “TransYujStroj-Arena”, executive director, 8913975860, andrey.ustinov@icloud.com

*Ներկայացվել է՝ 02.03.2017թ.*

*Ընդունվել է անադրուբյան՝ 05.04.2017թ.*