

## Основные факторы и их зависимости, определяющие оптимальные режимы работы вибрационных катков при уплотнении песчаных грунтов

*Д.М. Тимофеев*

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета.*

**Аннотация:** Основной целью данной работы является определения оптимальных режимов работы вибрационных катков, которые способствуют эффективному уплотнению песчаных грунтов. Актуальность статьи обусловлена необходимостью применения различных методов работы вибрационных катков при уплотнении песчаных грунтов с учетом постоянно изменяющихся условий. В статье выявлены зависимости основных показателей при производстве работ по уплотнению: скорости катка при уплотнении, веса катка, толщины уплотняемого слоя грунта и количества проходок. Практическая значимость заключается в возможности определения оптимальных режимов работы различных вибрационных катков при уплотнении песчаных грунтов, что позволит определить наиболее производительные и экономически целесообразные параметры их применения.

**Ключевые слова:** уплотнение, эффективность уплотнения, вибрационный каток, песчаный грунт, толщина уплотняемого слоя

Развитие технологий в строительстве способствуют тому, что к уплотнению грунта предъявляют все более высокие требования. Встает вопрос о выборе оптимальных механизмов, которые позволяют выполнить работу не только качественно, но и максимально эффективно (с точки зрения экономических затрат). Вопросами по определению зависимостей для определения необходимого оборудования и режима его работы занимались многие отечественные и зарубежные производители: Рыбинское ОАО «РАСКАТ» [1]; фирма HAMM [2]; компания BOMAG [3]; фирма CATERPILLAR [4]; шведская компания DYNAPAC [5], коллектив кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета [6]». Масштабные исследования были проведены Carl Wersäll и его коллегами в период с 2011 по 2016 года в финансово-экономическом институте технологий в Стокгольме. Они провели серию

исследований уплотнения различных видов песчаных грунтов, в качестве факторов были выбраны частота колебаний механизмов, резонансное усиление, а также различные условия уплотнения. Для Н. П. Александровой, Т. В. Семеновой и К. Ю. Стригун важным является поиск математических моделей для оценки коэффициента уплотнения. В качестве важных параметров анализируются коэффициент увлажнения грунта и тип прибора измерителя жесткости грунта. А. Мальцев, А. Понаморенко и Д. Попов в своих испытаниях показали, какое значение для способа уплотнения имеет влажность грунта. В лабораторных условиях они доказали, что «при повышении содержания влаги в песчаной почве более чем на 15% наиболее эффективным средством уплотнения будет трамбовка, а наименее эффективным - виброкомпрессия и прокатка» [7, С. 112].

На практике при выполнении работ по уплотнению песчаного грунта мы часто сталкиваемся с трудностями определения количества проходок, скорости и массы грунтоуплотняющего механизма при определенных температурных и проектных условиях.

Для того что бы обобщить всю информацию от которой зависит схема производства работ для уплотнения насыпей с возможностью применения на практике, нам необходимо построить графики зависимостей различных факторов, которые оказывают самое значимое влияние на уплотнение песков, подтвержденные как отечественными, так и зарубежными исследованиями.

Одними из основных факторов при определении количества проходок катка при уплотнении песков является масса катка, а также толщина отсыпаемого слоя [8,9].

В отечественной практике принято классифицировать вибрационные катки по массе грунтоуплотняющего механизма, что на сегодняшний день не является актуальным, так как на степень уплотнения и толщину слоя насыпи

---

вливают множество факторов, которые оказывают значительное влияние на технологию проведения работ и в конечном итоге на получение прибыли.

При производстве работ по уплотнению грунта необходимо учитывать его рабочую скорость, влажность грунта и количество проходок. Для того, что бы учесть все эти зависимости нам необходимо их проанализировать и сопоставить между собой. Для этого мы сначала определим зависимости массы грунтоуплотняющего механизма от толщины отсыпаемого слоя и необходимого количества проходок виброкатка (Рис. 1).

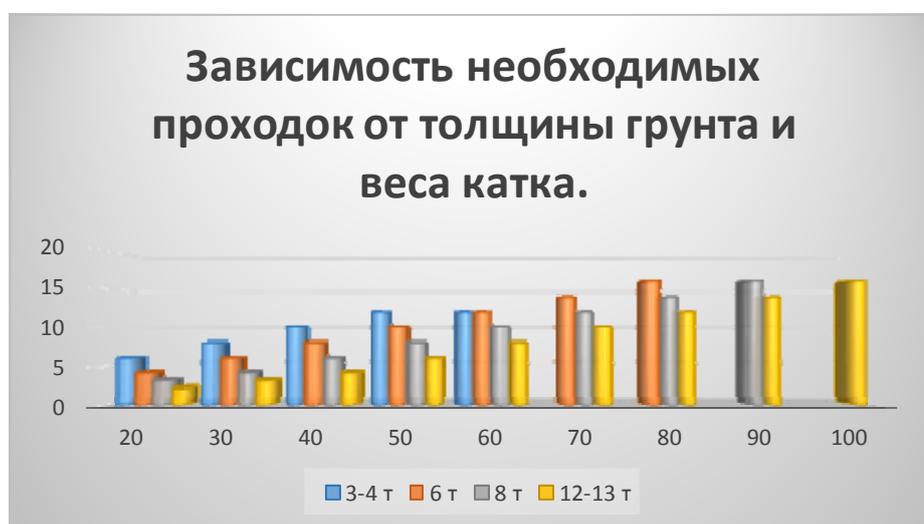


Рис. 1 Зависимость необходимых проходок от толщины грунта и веса катка.

Все данные приведенные на графике определены при условии оптимальной влажности песчаного грунта. По оси «х» указана толщина уплотняемого слоя (в см.) при различной массе вибрационного катка (т.), а по оси «у» - требуемое количество проходок виброкатка до достижения  $K_{упл.}=0,98$  при уплотнении песчаного грунта.

С помощью этого графика в полевых условиях без привлечения специализированной лаборатории мы можем определить необходимое количество проходок. Но нам необходимо знать при какой скорости движения грунтоуплотняющего механизма мы сможем добиться наилучших показателей по уплотнению грунтового основания.

Нужно учитывать что, при снижении скорости катка снижается и его производительность. Например, НИИ СОЮЗДОРНИИ в своих исследованиях определил оптимальный скоростной режим для уплотнения песчаного основания 1,5-2,5 км/ч.[10]. При этой скорости каток способен произвести уплотнение грунтового основания за 6-10 проходов. При увеличении скорости катка при уплотнении, необходимо будет и увеличить количество его проходов по одному следу.

Большая работа по определению оптимальных скоростных режимов работы вибрационных катков была проделана Союздорнии г. Москвы, который определил параметры затухания по глубине грунта и амплитуды колебаний при различных скоростях виброкатка (Рис 2).

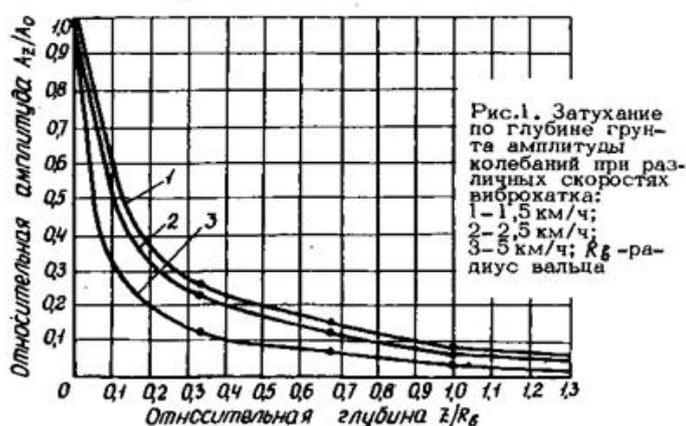


Рис. 2 – Затухание по глубине грунта амплитуды колебаний при различных скоростях виброкатка. Где: 1-1,5 км/ч; 2-2,5 км/ч; 3-5 км/ч;  $R_v$  - радиус вальца[10]

Зарубежная компания CATERPILLAR, также проводила свои исследования в области определения оптимальных скоростных показателей уплотнения своими вибрационными катками, и она смогла вывести зависимости эффективного уплотнения и скорости уплотнения (Рис 3) [4].

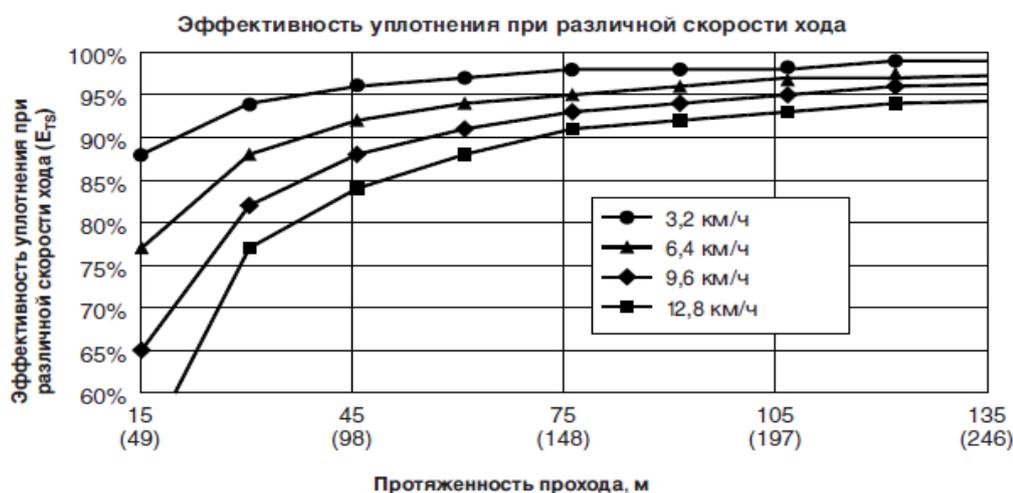


Рис. 3 – Определение значений коэффициента эффективности уплотнения грунта

При определении коэффициента эффективности уплотнения грунта виброкатками с различной скоростью движения (рис. 3) мы видим, что эффективность уплотнения резко снижается при значительном увеличении скорости движения при уплотнении грунта.

Один из ведущих мировых производителей вибрационных катков компания VOMAG произвела исследования в области определения оптимальной амплитуды уплотнения грунтов. Согласно этим исследованиям частоту вибрации надо всегда принимать несколько выше резонансной, а именно 35—42 Гц — для песчаных и супесчаных грунтов [3].

На основании проведенных исследований отечественных и зарубежных компаний, мы можем говорить о том, что существует прямая зависимость эффективности уплотнения от скорости перемещения грунтоуплотняющего механизма. Это дает нам возможность построить график зависимости количества проходов вибрационного катка от скорости движения. На данном графике будут учитываться показатели скорости и количества проходов катка, которые помогут нам определить оптимальные режимы использования грунтоуплотняющих механизмов (рис. 4).

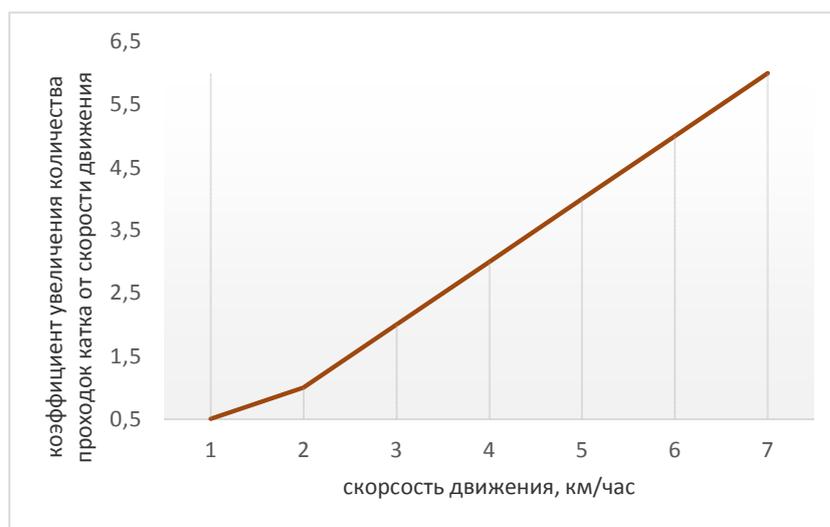


Рис. 4 – График зависимости количества проходов вибрационного катка от скорости движения.

Также при выборе рациональных параметров необходимо учитывать влажность уплотняемого грунта. «При отклонении влажности песчаного грунта от оптимальной до  $\pm 6\%$  число проходов (ударов) вибрационных катков, должны быть увеличены в два раза, а при отклонении до  $\pm 14\%$  - в три раза» (СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. М.: Минрегион России, – 2012.). Оптимальная влажность песков в зависимости от вида песка колеблется в пределах от 8 до 14% [11]. Для более четкого понятия и определения оптимальной влажности песка мы должны провести лабораторные исследования по определению максимальной плотности песчаного грунта согласно ГОСТ 22733-2002. В этом случае мы сможем расставить границы по необходимому увеличению количества проходов виброкатка в зависимости от отклонения влажности песчаного грунта от оптимальной.

С помощью выявленных зависимостей основных факторов при уплотнении грунта вибрационными катками мы можем определить наиболее оптимальные параметры и режимы их работы. На практике это позволит

снизить эксплуатационные затраты при использовании вибрационных катков. Для определения наиболее экономически целесообразного механизма нам потребуется данные об эксплуатационных затратах использования грунтоуплотняющего механизма.

Таким образом, в статье приведены факторы, определяющие оптимальные режимы работы вибрационных катков при уплотнении песчаных грунтов, описаны зависимости веса катка от толщины уплотняемого слоя грунта и количества проходов, а также учтены показатели скорости катка при уплотнении. Эти данные позволят определить наиболее производительные и экономически целесообразные параметры применения вибрационных катков.

### Литература

1. Ложечко В.П., Шестопалов А.А., Окунев В.И., Окулов Р.Д. Уплотняющие машины // Пособие по выбору оборудования для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей (на примере машин, выпускаемых ЗАО «РАСКАТ», г. Рыбинск) – Рыбинск, Рыбинский дом печати, 2004. – 79 с.

2. Hamm ag. Больше чем только уплотнение. – 2017 – URL: [alretta.ru/files/catalogs/390f9b578787456d1b6ab92cfd5f40fc\\_hamm\\_parts2017.pdf](http://alretta.ru/files/catalogs/390f9b578787456d1b6ab92cfd5f40fc_hamm_parts2017.pdf)

3. Petersen D. L. Continuous compaction control MnROAD demonstration. – 2005. – № MN/RC-2005-07. - 139p.

4. Технично-эксплуатационные характеристики машин компании Caterpillar® Справочник. Издание 38. Издание Cat® Caterpillar Inc., Пеория, Иллинойс, США, 2008. – 1143 с.

5. Уплотнение и укладка. Теория и практика (издание Dynapac Compaction Equipment AB) – СПб, «Рекламное агентство А.М.Г.», – 2008. – 90 с.

6. Тюремнов И. С., Филатов И.С., Игнатъев А.А. Обзор рекомендаций производителей по использованию вибрационных катков для уплотнения

грунта // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2014. – №2. – С. 155-162.

7. Maltsev A. et al. Evaluation of the effectiveness of methods of compaction of sandy soil using physical modeling in the laboratory // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – V. 117. – pp. 1-7.

8. Тимофеев Д. М. Оценка эффективности применения грунтоуплотняющих машин и механизмов. // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4778](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4778)

9. Ключникова О.В., Шаповалова А.Г., Цыбульская А.А. Основные принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064)

10. Методические рекомендации по повышению эффективности использования виброкатков при сооружении земляного полотна автомобильных дорог / Гос. всесоюз. дор. НИИ; [Сост. М. П. Костельов и др.]. – М.: Союздорнии, 1987. – 38 с. – URL: [znaytovar.ru/gost/2/Metodicheskie\\_rekomendaciiMeto361.html](http://znaytovar.ru/gost/2/Metodicheskie_rekomendaciiMeto361.html)

11. Абелев М. Ю., Бахронов Р.Р., Джангидзе З.У. Об эффективности устройства уплотненной песчаной подушки в основаниях многоэтажных зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №4. – С. 55-58.

### References

1. Lozhechko V.P, Shestopalov A.A., Okunev V.I., Okulov R.D. Posobie po vyboru oborudovaniya dlya uplotneniya gruntov i asfal'tobetonyh smesej (na primere mashin, vypuskaemyh ZAO «RASKAT», g. Rybinsk) [Collection of scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of sheep and goat breeding] Rybinsk, Rybinskij dom pečati. 2004. 79 p.



2. Hamm ag. Bol'she chem tol'ko uplotnenie. [More than just a seal]. 2017. URL: [alretta.ru/files/catalogs/390f9b578787456d1b6ab92cfd5f40fc\\_hamm\\_parts2017.pdf](http://alretta.ru/files/catalogs/390f9b578787456d1b6ab92cfd5f40fc_hamm_parts2017.pdf)
  3. Petersen D.L. Continuous compaction control MnROAD demonstration. 2005. № MN/RC-2005-07. 139p.
  4. Tekhniko-ehkspluatacionnye harakteristiki mashin kompanii Caterpillar® Spravochnik. Izdanie 38. [Caterpillar® Machine Specifications Handbook] Izdanie Cat® Caterpillar Inc. Peoriya. Illinojs. SSHA. 2008, 1143 p.
  5. Uplotnenie i ukladka. Teoriya i praktika [Compaction and styling. Theory and practice] (izdanie Dynapac Compaction Equipment AB). SPb, «Reklamnoe agentstvo A.M.G.». 2008. 90 p.
  6. Tyuremnov I.P., Filatov I.P. Ignat'ev A.A. Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta 2014. №2. pp.155-162.
  7. Maltsev A. et al. Evaluation of the effectiveness of methods of compaction of sandy soil using physical modeling in the laboratory. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2017. V. 117. pp. 1-7.
  8. Timofeev D.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2018, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4778](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4778)
  9. Kljuchnikova O.V., Shapovalova A.G., Cybul'skaja A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2064)
  10. Metodicheskie rekomendacii po povysheniyu ehffektivnosti ispol'zovaniya vibrokatkov pri sooruzhenii zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog [Guidelines for improving the efficiency of using vibratory rollers in the construction of a road bed]. Gos. vsesoyuz. dor. NII. M.: Soyuzdornii, 1987. 38 p. URL: [znaytovar.ru/gost/2/Methodicheskie\\_rekomendaciiMeto361.html](http://znaytovar.ru/gost/2/Methodicheskie_rekomendaciiMeto361.html)
  11. Abelev M. YU, Bahronov R..R., Dzhangidze Z.U. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. №4. pp. 55-58.
-