



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СОЮЗДОРНИИ



**МЕТОДИЧЕСКИЕ  
РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОКАТКОВ ПРИ  
СООРУЖЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Москва 1987**

**Утверждены замдиректора Союздорнии канд. техн. наук  
Б.С. Марышевым**

**Одобрены Главдорстроем и Главзапсибдорстроем (письмо  
№ 6204/26-811 от 3.12.84г.)**

Изложены принципы уплотнения грунтов вибрационным способом и выбора параметров и типов прицепных и самоходных шарнирно-сочлененных виброкатков с гладкими и кулачковыми вальцами. Приводятся рациональная технология, режимы работы и особенности использования виброкатков при сооружении земляного полотна из песков, в том числе одноразмерных, скальных, крупнообломочных, моренных, суглинистых и других грунтов и дорожных материалов в различном состоянии в разных условиях, включая жаркий климат (маловлажные пески) и зимнее время.

Даны рекомендации по учету ряда особенностей эксплуатации, расширению области использования и модернизации прицепных виброкатков. Показаны пути дальнейшего совершенствования и повышения эффективности их работы.

**Содержание**

[1. Общие положения](#)



[2. Основные параметры виброкатков и их влияние на качество и интенсивность уплотнения фунтов](#)

[3. Технология уплотнения несвязных грунтов](#)

[4. Особенности уплотнения однородных песков](#)

[5. Особенности уплотнения связных грунтов](#)

[6. Уплотнение грунтов в зимнее время](#)

[7. Расширение области использования виброкатков](#)

[8. Некоторые особенности эксплуатации и модернизации виброкатков. Контроль качества уплотнения грунта](#)

[Приложение 1 Техническая характеристика прицепных, шарнирно сочлененных и комбинированных виброкатков, применяемых в СССР для уплотнения земляного полотна и оснований](#)

[Приложение 2 Основные технические параметры гусеничных и колесных тягачей для прицепных виброкатков](#)

[Приложение 3 Показатели экономической эффективности технологии уплотнения различных грунтов прицепными виброкатками А-8 и А-12 \(ГДР\)](#)

## **Предисловие**

В дорожном строительстве нашей страны, и прежде всего при сооружении земляного полотна, повсеместно стали использоваться прицепные и самоходные шарнирно-сочлененные вибрационные катки отечественного и зарубежного производства. Их доля в общем парке грунтоуплотняющей техники в последние годы быстро возросла и достигла в настоящее время 25-30 %.

Они относятся к уплотняющим средствам динамического типа, обладающим определенными достоинствами, возможностями и имеющим обширную практику применения в гидротехнической, транспортной и промышленной областях строительства многих стран мира. В целом ряде случаев виброкатки способны заменить традиционные машины статического типа, а в некоторых случаях, как, например, при уплотнении однородных и барханных



песков, скальных, крупнообломочных грунтов, они являются практически единственным эффективным уплотняющим средством.

Особенно высокоэффективными оказались мощные и тяжелые модели виброкатков. С ростом массы изменились их функциональные возможности, что обусловило некоторые прогрессивные изменения в технологии отсыпки и уплотнения грунтов, заметное повышение производительности катков, качества уплотнения, а также снижение себестоимости и трудоемкости этой операции.

Однако в отечественном дорожном строительстве еще не все возможности и достоинства виброкатков выявлены, а известные не всегда используются должным образом. Проведенные Ленинградским и Казахским филиалами Союздорнии анкетный опрос и обследования дорожно-строительных подразделений Главдорстроя, Главзапсидорстроя и некоторых республиканских министерств показали, что дорожниками пока еще не накоплен надлежащий практический опыт рационального и эффективного применения виброкатков, не везде и не всегда технологические режимы и приемы работы виброкатков соответствуют оптимальным, иногда возникают затруднения в их правильной эксплуатации при изменении грунтовых и погодноклиматических условий, в которых ведется строительство.

Цель настоящих Методических рекомендаций дать достаточно полное и реальное представление о технических возможностях, способностях виброкатков и об особенностях их применения с учетом технологических, грунтовых и погодноклиматических условий строительства земляного полотна и некоторых дорожных оснований и тем самым способствовать повышению эффективности их использования.

Методические рекомендации разработаны на основе обобщения отечественного и зарубежного опыта применения виброкатков и многочисленных полевых экспериментов в Западной Сибири, Коми АССР, Казахстане, Ленинградской обл., Прибалтике, Белоруссии и Молдавии из выполненных Ленинградским и Казахским филиалами Союздорнии с использованием прицепных и шарнирно-сочлененных моделей виброкатков, изготовленных в СССР, ГДР и Швеции. Настоящие Методические рекомендации предназначены развить и дополнить соответствующие разделы и положения [СНиП 3.06.03-85](#) "Автомобильные дороги. Правила производства и



приемки работ" и "Руководства по сооружению земляного полотна автомобильных дорог" (М.: Транспорт, 1982).

Методические рекомендации составили кандидаты технических наук М.П. Костельов, Н.В. Питерина, инж. Ю.Л. Куканов (Ленинградский филиал Союздорнии) при участии канд. техн. наук А.М. Каменева и инж. Р.Г. Абулханова (Казахский филиал Союздорнии).

## 1. Общие положения

1.1. Настоящими Методическими рекомендациями следует руководствоваться при использовании прицепных и самоходных шарнирно-сочлененных вибрационных катков в дорожном строительстве, и прежде всего при сооружении земляного полотна. Они развивают и дополняют соответствующие положения [СНиП 3.06.03-85](#) и "Руководства по сооружению земляного полотна автомобильных дорог".

1.2. Вибрационные катки являются прогрессивным грунтоуплотняющим средством динамического типа. Большинство современных виброкатков работает с некоторым отрывом от укатываемой поверхности, т.е. в виброударном режиме, и поэтому уплотнение грунта происходит под воздействием двух факторов:

вибрации, вызывающей снижение или разрушение внутренних сил трения и сцепления между частицам и грунта и создающей благоприятные условия для эффективного перемещения и плотной упаковки этих частиц;

динамического давления и сдвигающего усилия, создаваемых в грунте за счет частоударного нагружения.

В уплотнении несвязных грунтов превалирующая роль принадлежит первому фактору, второй является лишь дополнением к нему. С повышением же связности материала роль второго фактора возрастает, а первого снижается.

1.3. С повышением массы виброкатка при неизменных параметрах вибрации (амплитуде, частоте) динамическое воздействие катка на грунт возрастает. Например, при изменении массы с 8 до 12 т ударные напряжения в грунте увеличиваются с 6-8 кгс/см<sup>2</sup> (0,6-0,8 МПа) до 16-18 кгс/см<sup>2</sup> (1,6-1,8 МПа). Поэтому



тяжелые виброкатки способны успешно уплотнять также некоторые разновидности связных грунтов.

1.4. Вибрационные катки в большинстве своем оборудуются вальцами двух типов: гладким, используемым на всех типах грунтов и материалов, и кулачковым, предназначенным для уплотнения в основном связных пластичных грунтов. В дорожном строительстве СССР, где связные грунты составляют 52-55 %, скальные, крупнообломочные - около 21-22 % и песчаные - примерно 24-26 %, целесообразно использовать виброкатки как с гладкими, так и с кулачковыми вальцами.

1.5. Эффективность виброкатков (степень уплотнения, толщина прорабатываемого до требуемой плотности слоя, производительность) зависит от конструкции и параметров вибрации катка, типа и состояния грунта и технологических приемов выполнения работ.

## **2. Основные параметры виброкатков и их влияние на качество и интенсивность уплотнения грунтов**

2.1. Виброкатки для уплотнения грунтов могут быть прицепными, буксируемыми гусеничными или пневмоколесными тягачами, и самоходными, у которых вибрационный валец шарнирно сочленен с одноосным двухколесным или многоколесным тягачом.

Самоходные шарнирно-сочлененные катки более маневренны, чем прицепные, однако их проходимость и устойчивость на плохо спланированных поверхностях, рыхлых и маловлажных песках или переувлажненных грунтах недостаточны. Поэтому применять их целесообразнее для укатки верхней части земляного полотна или оснований.

Масса вибрационного вальца и его пригруза у самоходного шарнирно-сочлененного катка составляет в среднем 45-55 % его общей массы, поэтому его уплотняющую способность можно приравнять к способности прицепного виброкатка с массой, соответствующей этим 45-55 %. Например, комбинированный каток ДУ-52 по воздействию его вибровальца на грунт аналогичен прицепному виброкатку массой около 6-7 т, а ДУ-57 - катку массой около 11-13 т ([прил.1](#)).



2.2. Основными конструктивными параметрами виброкатка являются его общая масса, масса колеблющегося вальца, масса его пригруза, амплитуда и частота колебаний, диаметр и ширина вальца. Этими параметрами и определяется динамическое воздействие катка на грунт.

В зависимости от общей массы прицепные виброкатки подразделяются на легкие (3-4 т), средние (6-8 т) и тяжелые (10-12 т и более). Большинство из них уплотняют грунты при амплитуде колебаний вальца 1-2 мм и частоте 20-30 Гц.

Технические данные виброкатков, применяемых в дорожном строительстве СССР, приведены в [прил.1](#), гусеничных и колесных тягачей для прицепных виброкатков - в [прил.2](#).

2.3. Основными показателями технологии выполнения операции уплотнения являются толщина уплотняемого слоя грунта, рабочая скорость перемещения и количество проходов виброкатка по одному следу. Экспериментами и испытаниями виброкатков установлено, что максимальная толщина уплотняемого слоя (глубина уплотнения) приблизительно пропорциональна массе катка.

Для большинства реальных случаев эту толщину можно выбирать по [табл.1](#), данные которой получены практическим путем при оптимальных значениях рабочей скорости (2-3 км/ч) и количества проходов виброкатка. Эти показатели в каждом конкретном случае следует уточнять пробным уплотнением грунта.

2.4. На степень уплотнения и толщину прорабатываемого виброкатком слоя грунта большое влияние оказывает режим укатки, т.е. рабочая скорость и количество проходов катка.

Таблица 1

Разновидность грунта, его состояние	Степень уплотнения	Максимальная толщина уплотняемого слоя, см, прицепным виброкатком общей массой, т				Количество проходов катка
		3-4	6	8	12-13	



Скальный и крупнообломочный с несвязным заполнителем, валунно-галечный	0,95	-	60-70	80-90	110-130	8-10	
Моренный несвязный и малосвязный	0,95	-	50-60	70-80	100-120	6-10	
	0,98	-	30-40	40-50	60-70	6-10	
Песок обычный, в том числе пылеватый, песчано-гравийная смесь	0,95	40-65	65-70	80-90	100-120	4-8	
	0,98	20-30	40	50	60-70	6-10	
Песок однородный с влажностью, %:	4-5	0,95	35-40	45	55	65-70	3-4
		0,98	20	30	35	40	3-4
	6-7	0,95	40-50	60	70-75	80-90	6-8
		0,98	20-30	40	50	60	6-8
	Супесь, в том числе пылеватая, с оптимальной влажностью	0,95	35-40	45-50	155-60	70-75	6-8
		0,98	20-25	30-35	35-40	40-45	8-10
	Суглинок с относительной	0,95	-	30-35	35-40	50-60	8-10



влажностью, доли оптимальной:						
0,95-1,05						
0,85-0,90	0,95	-	15-20	20-25	30-35	10-12

Согласно экспериментальным и практическим данным, чем ниже рабочая скорость катка, тем выше плотность и глубина уплотнения. Однако с уменьшением скорости довольно быстро падает производительность катка. Поэтому опытным путем была найдена скорость (1,5-2,5 км/ч), при которой плотность, толщина слоя и производительность оказались наиболее оптимальными. При работе на такой скорости в основном за 4-8 проходов по одному следу виброкаток реализует практически все свои возможности по достижению наибольшей толщины уплотняемого слоя и высокой плотности грунта.

Уплотнение можно вести и на больших скоростях (5-6 км/ч). Но в этом случае большая скорость должна компенсироваться увеличением количества проходов катка с таким расчетом, чтобы общее время вибрирования грунта на разных скоростях было приблизительно постоянным.

Однако на скоростях выше 2,5 км/ч, например в 2 раза, не только уменьшается время вибрирования грунта, но и снижается амплитуда колебаний в приповерхностных слоях насыпи в 2 раза, а в нижних - в 3-4 раза ([рис. 1](#)). Поэтому такой режим работы виброкатка требует более чем пропорционального увеличения количества его проходов и затрудняет достижение высокой плотности грунта, т.е. он целесообразен и выгоден только в случае потребности уплотнить грунт до меньших значений плотности.

Толщины слоев, приведенные в табл. 2, получены при оптимальных рабочих скоростях (не более 2-2,5 км/ч) и указанном числе проходов виброкатков, причем меньшие значения количества проходов относятся к тяжелым, а большие - к легким и средним типам катков.

2.5. Эксплуатационную производительность виброкатка  $P_{\text{э}}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) можно определить по формуле:





$$\Pi_3 = \frac{0,75VBh_y}{n},$$

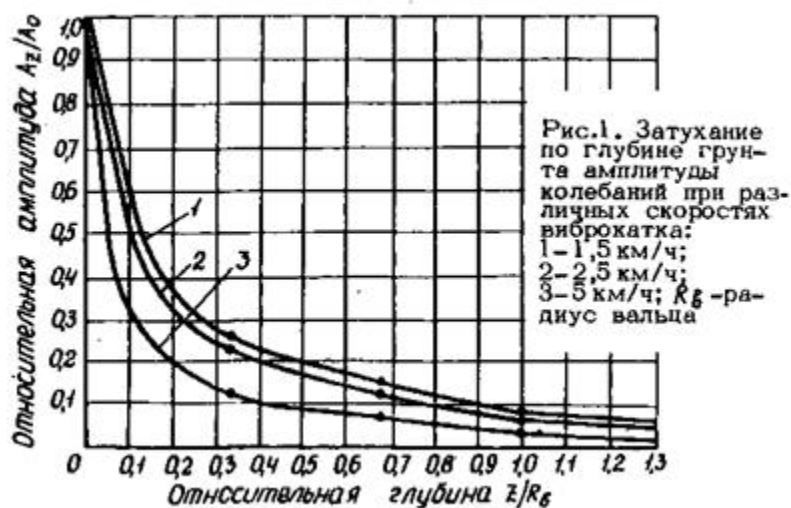
где 0,75 - коэффициент, учитывающий различные эксплуатационные потери времени (развороты катка, отдых машиниста, непредвиденные остановки и т.п.) и перекрытие соседних полос уплотнения;

$V$  - рабочая скорость, м/ч;

$B$  - ширина уплотнения, м;

$h_y$  - толщина уплотняемого слоя, м;

$n$  - число проходов катка по одному следу.



**Рис. 1 Затухание по глубине грунта амплитуды колебаний при различных скоростях виброкатка:**  
1-1,5 км/ч; 2-2,5 км/ч; 3-5 км/ч;  $R_B$  - радиус вальца.

В табл.2 приведена расчетная производительность виброкатков на рабочей скорости 2,5 км/ч при различных сочетаниях толщины уплотняемого слоя и количества проходов, соответствующих данным [табл.1](#).

Таблица 2



Ширина вальца катка, м	Количество проходов катка	Эксплуатационная производительность виброкатка м <sup>3</sup> /ч, при толщине слоя, см,											
		20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	120
1,4--1,5	4	130	165	200	230	260	330	-	-	-	-	-	-
	6	90	110	130	155	175	220	-	-	-	-	-	-
	8	65	80	100	115	130	165	-	-	-	-	-	-
2,0	4	190	235	280	330	375	470	565	655	750	845	940	1125
	6	125	155	190	220	250	310	370	440	500	560	625	750
	8	95	120	140	165	190	235	290	330	380	420	470	565
	10	75	95	ПО	130	150	190	225	260	300	340	375	450
2,4	4	225	280	340	390	450	560	675	790	900	1000	1120	1350
	6	150	185	225	260	300	375	450	525	600	680	750	900
	8	110	140	170	200	225	280	340	395	450	500	560	675
	10	90	110	135	160	180	225	270	315	360	400	450	540

Примечание: Наибольшую толщину слоя следует выбирать по [табл.1.](#)



### **3. Технология уплотнения несвязных грунтов**

3.1. . Несвязные грунты и материалы (скальные, крупнообломочные, валунно-галечные, моренные, песчано-гравийные, песчаные) в неуплотненном состоянии обладают заметной чувствительностью к различного рода сотрясениям, ударам и вибрациям, т.е. значительной деформативной реакцией на динамические воздействия. Поэтому вибрационные катки следует отнести к наиболее эффективным и целесообразным средствам уплотнения таких грунтов и материалов.

3.2. При уплотнении скальных, крупнообломочных и валунно-галечных грунтов максимальный размер отдельных включений не должен превышать  $2/3$  толщины отсыпаемого слоя. При использовании виброкатков среднего типа (массой 6-8 т) в насыпь не должны допускаться включения крупнее 300-400 мм, тяжелого типа (10-15 т и более) - крупнее 500-600 мм.

3.3. При работе виброкатка на скальных, крупнообломочных, валунно-галечных и моренных грунтах поверхность насыпи необходимо хорошо планировать и не допускать прямого контакта крупных включений с вальцом катка, так как это может привести к быстрым и серьезным поломкам последнего. Негабаритные и крупные обломки следует втапливать в толщу уплотняемого слоя или удалять.

При необходимости в верхней части уплотняемого слоя можно предусмотреть отсыпку грунта с мелкими фракциями слоем 20-30 см, что позволит обеспечить необходимую ровность укатываемой поверхности.

3.4. Так как вибрация в глубь грунта передается в точках соприкосновения частиц и кусков (обломков), то затухающий эффект будет значительнее в мелкозернистых скальных, крупнообломочных грунтах, чем в крупнозернистых. Поэтому крупнозернистые скальные, крупнообломочные грунты можно уплотнять более толстыми слоями, достигающими 120-150 см, в случае использования тяжелых виброкатков массой 12-15 т и более.

3.5. Скальные, валунно-галечные и несвязные крупнообломочные грунты обычно уплотняются виброкатками без дополнительного увлажнения или высушивания. При содержании в крупнообломочных грунтах связного мелкозема до 30 % его



уплотнение можно вести при влажности выше оптимальной (до  $1,3 W_0$ ), более 30 %-в пределах оптимальной (от  $0,9 W_0$  до  $1,1 W_0$ ) и при уменьшении толщины отсыпаемого слоя на треть половину.

3.6. Требуемая степень уплотнения скальных, валунно-галечных и крупнообломочных грунтов достигается за 8-12 проходов виброкатка. Осадка слоя при этом может достигать 8-12 % его толщины, поэтому следует предусматривать соответствующий запас толщины насыпи.

3.7. Песчаный грунт и песчано-гравийная смесь, не имеющие в своем составе пылеватых и глинистых частиц, лучше всего уплотняются виброкатками в водонасыщенном состоянии, когда беспрепятственная фильтрация воды в любом направлении способствует лучшей передаче вибрационных воздействий в глубь грунтового массива.

Мелкие пески в таком состоянии проявляют худшую склонность к уплотнению виброкатками из-за взвешенности их частиц в воде. Поэтому их влажность должна быть снижена до значений, близких к оптимальным.

Хорошее уплотнение непывеватых песков при вибрационной укатке можно получить в их воздушно-сухом состоянии. Однако степень уплотнения и глубина передачи вибровоздействий у сухого песка меньше, чем у влажного. Таким образом, предпочтение следует отдавать уплотнению песка во влажном состоянии.

3.8. Из-за низкой сдвиговой прочности песка и песчано-гравийной смеси, особенно в сухом состоянии, очень трудно получить высокую плотность в приповерхностном слое (10-20 см). Практически он всегда находится в разуплотненном состоянии и тем самым ухудшает передачу вибровоздействий катка нижележащим слоям насыпи, так как действует подобно гасителю колебаний и в силу этого снижает качество уплотнения.

Поэтому рекомендуется, во-первых, доувлажнять хотя бы приповерхностный слой песка до влажности не ниже 6-8 % и, во-вторых, включать его для доуплотнения в толщину последующего отсыпаемого слоя, т.е. толщину последнего уменьшать на 10-20 см.

3.9. Когда необходимая степень плотности не превышает 0,95, виброуплотнение непывеватого песка и песчано-гравийной смеси рекомендуется производить на повышенной рабочей скорости катка (5-6 км/ч) с числом проходов по одному следу, равным



примерно 10 для ДУ-14 и А-4, восьми - для ДУ-52 и шести - для А-8, А-12 и ДУ-57.

При таком режиме производительность катков повышается в 1,5-2 раза. Причем толщина отсыпаемого слоя не должна превышать 40-50 см для ДУ-14 и А-4, 60-70 см - для ДУ-52, 80-90 см - для А-8, 100-120 см - для ДУ-57 и А-12.

3.10. При требуемой степени уплотнения 0,98-1,0 непылеватые пески рекомендуется уплотнять только на малых рабочих скоростях (не выше 2,0-2,5 км/ч) с количеством проходов катка и слоями отсыпки, указанными в [табл.1](#).

3.11. У пылеватых песков и супесей дренирующие свойства существенно ниже, чем у чистых песков. При большом содержании воды они становятся пластичными и упругими и поэтому труднее поддаются уплотнению вибрацией.

Очень сложно уплотнить такие грунты вибрационными средствами при их низком влагосодержании. Пылеватые супеси при влажности (0,5÷0,7)  $W_0$  практически невозможно уплотнить до степени 0,95 даже тяжелым виброкатком массой 12-13 т. Эти грунты рекомендуется уплотнять такими средствами при влажности, равной (0,9÷1,1)  $W_0$ . Если же она ниже и составляет (0,75÷0,85)  $W_0$  то следует уменьшать толщину отсыпаемого слоя в 1,5-2 раза и увеличивать количество проходов виброкатка по одному следу до 12-14.

#### **4. Особенности уплотнения одноразмерных песков**

4.1. Одноразмерные пески имеют ряд характерных свойств и признаков, существенным образом влияющих на их уплотняемость и проходимость по ним колесных машин. Это прежде всего:

преимущественное содержание в их зерновом составе одной или двух соседних фракций частиц размером 0,5-0,1 или 0,25-0,10 мм - не менее 60-70 %, хотя встречаются пески с преобладающей фракцией 0,10-0,05 мм в количестве до 85-90 % (табл.3);

коэффициент неоднородности в пределах 1,5-2,8;

отсутствие или незначительное количество (до 5-7 %) в их составе пылеватых, илистых и глинистых частиц;



высокий коэффициент фильтрации, достигающий 1-5 с/сут. и выше;

низкая естественная влажность в буртах, насыпях и "сухоройных" карьерах, не превышающая 3-5 %;

уплотнение в сухом состоянии, при влажности до 1-1,5 % (при уплотнении в сухом состоянии в приборе стандартного уплотнения или на вибростенде достигается плотность, превышающая максимальную стандартную при оптимальной влажности на 0,06-0,09 г/см<sup>3</sup>);

низкие прочностные показатели, и прежде всего при сдвиге, в маловлажном или сухом состоянии;

высокая чувствительность к динамическим нагрузкам, что свойственно большинству несвязных материалов, и вследствие этого более хорошая уплотняемость, чем при воздействии статических нагрузок.

4.2. На результаты уплотнения виброкатками одноразмерного песка большое влияние оказывают те показатели его свойств и состояний, которые ведут к изменению его прочности при сжатии и сдвиге, внутреннего трения и сцепления. К таким показателям относятся, в частности, наличие пылевато-глинистых частиц и влажность.

Увеличение содержания в песке пылевато-глинистых частиц ведет к повышению качества его уплотнения и лучшей проходимости по нему катков и автомобилей.

Одноразмерные пески удовлетворительно уплотняются в насыпи виброкатками при влажности 6 - 7 % и выше, При меньшей влажности результаты уплотнения заметно ухудшаются.

Поэтому сухие и маловлажные одноразмерные пески во время их уплотнения рекомендуется обильно поливать из расчета повышения их влажности не менее чем до 6 - 7 %.

Увлажнению можно подвергать только поверхностный слой насыпи толщиной 25-30 см, а начинать уплотнение виброкатком необходимо следом за поливочной машиной, так как из-за высокой фильтрационной способности песок быстро обезвоживается.



4.3. Уплотнение сухого или маловлажного (влажность не более 4 - 5 %) однородного песка виброкатками сопровождается разрыхлением (разуплотнением) верхней зоны насыпи за счет сдвиговых деформаций. Чем больше масса катка и чем больше количество его проходов, тем сильнее и глубже разрыхление.

Толщина разрыхленного слоя может достигать 20-30 см, что в существенной мере затрудняет передачу нижележащим слоям песка вибрационных воздействий.

Место отбора проб песка	Содержание частиц, %		
	песчаных (2-0,05мм)	илистых и пылеватых (0,05-0,005 мм)	глинистых (<0,005 мм)
Тюменская обл.:			
п. Ямбург	96,8	2,7	0,5
Нижневартовский район	97,7	2,0	0,3
г. Сургут	92,0	7,0	1,0
Яун-Лор Сургутский	91,7	6,0	1,3
п. Радужный	95,0	5,0	-
г. Ноябрьск	99,8	0,2	-
Коми АССР:			
г. Сыктывкар	92,0	-	1,0



г. Сыктывкар, ВПП аэродрома	-	-	-
Ленинградская обл.	100,0	-	-
г. Горький;	97,8	2,2	-
Волгоградская обл., г. Волжский	100,0	-	-
БССР, г. Барановичи	95,0	4,0	1,0
Латвийская ССР: Рижский морской порт	100,0	-	-
г. Талсы	98,0	1,5	0,5
Казахская ССР (барханный песок)	92,0	7,0	1,0

Таблица 3

Преобладающая фракция частиц		.Коэффициент неоднородности	Стандартное уплотнение	
Размер, мм	Содержание, %		Максимальная плотность, г/см <sup>5</sup>	Оптимальная влажность, %
0,25-0,10	79,8	<3,0	1,65	14,2





0,25-0,10	76,4	<3,0	1,77	9,5
0,10-0,05	85,0	2,6	1,98	10,9
0,50-0,10	78,0	<3,0	1,90	10,1
0,10-0,05	86,0	1,-4	1,76	11,5
0,25-0,10	86,0	2,0	1,67	10,5
0,50-0,10	71,0	2,7	1,76	10,0
0,50-0,10	71,0	-	1,76	10,5
0,50-0,10	57,0	<3,0	1,73	10,6
0,25-0,10	85,4	-	1,72	7,8
0,50-0,10	72,0	-	-	
0,50-0,10	69,0	2,8	1,78	10,5
0,50-0,10	74,0	<3,0	1,73	12,0
0,25-0,10	89,0	<3,0	-	-
0,10-0,05	85,0	<3,0	1,57	11,0

катка, так как рыхлый слой подобен гасителю колебаний. В силу этого толщина прорабатываемого слоя песка и степень его уплотнения виброкатком снижаются (см. [табл.1](#)).



При работе на сухом или маловлажном одноразмерном песке рекомендуется количество проходов виброкатка по одному следу ограничивать 3-4. При большем числе проходов наблюдается сильное разрыхление насыпи и Снижение качества уплотнения на глубине.

На влажном песке или песке с примесью пылевато-глинистых частиц не менее 5-6% количество проходов виброкатка следует увеличивать до 6-8, что ведет к росту толщины уплотняемого слоя и повышению степени уплотнения (см. [табл.1](#)). На таком песке слой разрыхления уменьшается до 10-15 см.

4.4. Если требуемая степень уплотнения одноразмерного песка не превышает 0,95, рекомендуется использовать высокопроизводительный скоростной режим его виброукатки (см. [п. 3.9](#)).

4.5 Для высококачественного уплотнения насыпи из одноразмерного песка (со степенью не, менее 0,98 в том числе разрыхляемого виброкатком приповерхностного слоя, могут быть рекомендованы два технологических приема:

толщину отсыпаемого слоя назначают в соответствии с состоянием песка и возможностями виброкатка, уплотнение ведут с обильным увлажнением песка и на оптимальных режимах укатки (скорость 2,0-2,5 км/ч, число проходов - 6-8) и, наконец, толщину следующего отсыпаемого слоя уменьшают на величину зафиксированного разрыхления поверхности (15-20 см);

используют комбинированное уплотнение отсыпаемой и хорошо увлажняемой насыпи. Суть его сводится к применению сначала виброкатка на соответствующих оптимальных режимах работы, а затем решетчатого или пневмоколесного катка для доуплотнения приповерхностного слоя. Решетчатый каток наиболее пригоден для этой работы, так как имеет прерывистую поверхность вальца и поэтому вызывает меньшие сдвиги поверхности песка. В случае применения пневмоколесного катка давление воздуха в его шинах должно быть снижено до 2,0-2,5 атм, а его балластная пригрузка - до минимума. Для доуплотнения приповерхностного слоя необходимо 4-8 проходов решетчатого или пневмоколесного катка на рабочей скорости не более 3-4 км/ч.

4.6. Для улучшения условий уплотнения насыпи или отдельных ее слоев из одноразмерного песка и повышения проходимости построечного автотранспорта и других колесных машин



рекомендуется устраивать так называемую "замыкающую" прослойку толщиной до 10-15см из связного грунта, высевок щебня (0-10 мм), гравийно-песчаной смеси оптимального состава, разноразмерных крупнозернистых песков, шлаков и т.п.

"Замыкающие" прослойки можно устраивать методом обработки верхнего песчаного слоя (6-8 см) вяжущими материалами типа цемента, извести, золы уноса и битумной эмульсии.

## 5. Особенности уплотнения связных грунтов

5.1. Прочностные и деформативные свойства связного грунта определяются количественным содержанием в нем глинистых частиц и воды. Поэтому для его уплотнения даже при оптимальной влажности требуется значительное статическое и динамическое усилие.

Тех виброударных воздействий, которые развивают современные виброкатки среднего и тяжелого типов, достаточно только для уплотнения связного грунта более тонкими слоями, чем несвязного (см. [табл.1](#)). Легкие виброкатки на связных грунтах использовать не рекомендуется.

5.2. Вибрационные катки очень чувствительный изменению влажности связного грунта. Пылеватый суглинок с влажностью ниже  $(0,80 \div 0,85) W_0$ , так же как и пылеватую супесь с влажностью ниже  $(0,70 \div 0,75) W_0$  (см. [п.3.11](#)), невозможно уплотнить до степени 0,95 даже тяжелым виброкатком.

Поэтому уплотнять суглинки виброкатками среднего и тяжелого типов рекомендуется при влажности не менее  $(0,85 \div 0,90) W_0$  причем слоями не более 20-30см, за 10-12 проходов катка по одному следу.

При оптимальной влажности толщину слоя суглинка можно увеличить в 1,5-2 раза.

5.3. Для уплотнения связных пластичных, в том числе переувлажненных, грунтов рекомендуется использовать виброкатки с кулачковыми вальцами, эффективность которых на таких грунтах выше, чем гладковальцовых вибрационных и кулачковых статических катков. В частности, толщина уплотняемого слоя возрастает из 5-10 см.



5.4. Вальцы прицепных и самоходных виброкатков могут быть оснащены кулачками шиповыми (длина 180-250 мм, опорная поверхность в виде круга или квадрата площадью 30-70 см<sup>2</sup>) или сегментными (длина 70-130 мм, опорная поверхность в виде прямоугольника площадью 100-150 см<sup>2</sup>).

Применение катков с шиповыми кулачками наиболее рационально на комковатых суглинках и глинах нормальной или пониженной влажности, На переувлажненных связных грунтах их использование нецелесообразно из-за быстрого залипания вальца. Виброкатки с сегментными кулачками способны качественно уплотнять более широкий диапазон разновидностей грунтов - от низкой до высокой связности (табл. 4), в том числе комковатых и переувлажненных, т.е. они более универсальны и эффективны, чем катки с шиповыми кулачками.

Таблица 4

Тип и общая масса виброкатка с сегментными кулачками	Толщина уплотняемого слоя, см, грунта			
	песчаного гравийного	пылеватого, непластичного	глинистого связности	
			малой	высокой
Прицепной:				
6-8 т	60-80	50-60	35-40	25-30
10-12 т	100-120	70-80	45-50	35-40
15-16 т	140-150	100	55-60	45-50
Самоходный:				
10-11(6-7)т	60-70	45-50	30-35	25-30



15-16(10)т	90-100	65-70	40-45	30-35
20-21(13)т	120-130	80-90	50-55	40-45

5.5. В дорожном строительстве при возведении земляного полотна из связных грунтов рекомендуется применять самоходный статический кулачковый каток, оснащенный отвалом или ножом и выполняющий разравнивание и предварительное уплотнение грунта, в сочетании с 12-20-тонным самоходным прицепным виброкатком с сегментными кулачками, осуществляющим основное уплотнение. Хорошие результаты могут быть получены и в случае замены кулачкового виброкатка гладковальцовым.

## **6. Уплотнение грунтов в зимнее время**

6.1. Вибрационные катки следует отнести к наиболее подходящим и эффективным грунтоуплотняющим средствам для работы в зимних условиях, так как они способны уплотнять грунт толстыми слоями и с высокой производительностью, что отвечает основным требованиям и правилам сооружения земляного полотна) при отрицательных температурах.

6.2. Технологические режимы работы виброкатков зимой такие же, как и летом, с той только разницей, что в зимнее время накладываются дополнительные ограничения, обусловленные быстрой смерзаемостью грунта, на время выполнения виброкатком операции уплотнения и количество мерзлых комьев в талом грунте.

6.3. Максимально допустимое время выполнения виброкатком операции уплотнения грунта до начала его смерзания и рациональная длина рабочей захватки зависят от температуры наружного воздуха. Их значения рекомендуется принимать по табл. 5.

6.4. При уплотнении грунтов виброкатками в зимнее время количество мерзлых комьев в талом грунте должно составлять не более 10-15 %, а их размер не должен превышать 10-15 см.

Таблица 5



Показатель	Температура воздуха, °С			
	-5	-10	-20	-30
Время начала смерзания грунта после его выемки из карьера, мин	85-90	55-60	35-40	15-20
Максимальная длительность уплотнения грунта виброкатком, мин	60-65	40-45	25-30	12-15
Рациональная длина рабочей захватки, м, не более	100-120	60-80	40-50	20-25

Не следует допускать работу виброкатка с включенным вибратором на смерзшейся поверхности грунта, поскольку это может привести к его поломкам.

## 7. Расширение области использования виброкатков

7.1. Вибрационные катки, обладающие способностью прорабатывать несвязные грунты слоями большой толщины, рекомендуется использовать для доуплотнения земляного полотна, недостаточно или вообще не уплотненного по различным причинам в момент его сооружения.

Такая потребность иногда возникает после отсыпки насыпей зимой в стесненных условиях, например на выторфовываемых болотах, при ремонте земляного полотна и сборного покрытия, при оперативной подготовке верхней части насыпи под скоростное строительство основания и цементобетонного покрытия безрельсовым комплектом машин.

7.2. Большая глубина проработки и значительная зона грунта, подвергаемого вибрационным воздействиям позволяют рекомендовать виброкатки для ускорения консолидации слабого основания земляного полотна, например торфяного, и для посадки насыпей на минеральное дно болот.



Строительная практика и исследования показали, что эта работа может быть успешной даже при толщине насыпи 3-4 м, но при условии выполнения ее виброкатками тяжелого типа за 12-16 проходов по одному следу. Катки среднего типа пригодны для насыпей высотой не более 2,0-2,5 м.

7.3. Уплотнение дорожного основания из щебня группы А (прочный, легкоуплотняемый, из карбонатных пород) и группы Б (прочный, трудноуплотняемый, из магматических пород) рекомендуется производить одним виброкатком среднего или тяжелого типа взамен либо в дополнение к самоходным гладковальцовым каткам статического типа.

В случае использования одного виброкатка требуемые плотность (остаточная пористость) и жесткость щебеночного основания достигаются за 30-35 проходов со скоростью не более 3 км/ч.

## **8. Некоторые особенности эксплуатации и модернизации виброкатков. Контроль качества уплотнения грунта**

8.1. В целях сохранения работоспособности и целостности резинометаллических амортизаторов, установленных между вибрирующими вальцами и рамой катка, не рекомендуется включать вибратор при движении катка по твердой и жесткой поверхности (мерзлый грунт, асфальто- и цементобетонное покрытие и т.п.), само -ходом транспортировать каток на большие расстояния, резко дергать его тягачом или грузоподъемным устройством.

8.2. В нормальном работоспособном состоянии резинометаллические амортизаторы гасят или снижают на 85-95 % амплитуду колебаний, передаваемых от вальца на раму, и тем самым предохраняют двигатель, муфту, аккумуляторы и другие узлы и детали от чрезмерной вибрации и выхода их из строя.

Поэтому рекомендуется строго следить за состоянием амортизаторов, при их поломке немедленно прекратить эксплуатацию виброкатка и осуществить их замену.

8.3. Колебания вальца виброкатка передаются на большие расстояния и могут ощущаться за 40-50 м от него и более. Эти колебания могут вызвать повреждения и даже разрушение зданий, трубопроводов, мостов и других наземных и подземных



сооружений вследствие доуплотнения грунтового основания и осадок фундаментов.

В связи с этим при уплотнении грунтов рекомендуется устанавливать безопасные для подобных сооружений расстояния от работающего виброркатка.

Основными критериями опасного воздействия вибрации следует считать скорость ( $V$ , мм/с) и ускорение ( $W$ , мм/с<sup>2</sup>) колебаний фундамента и грунта основания. Их можно определить по формулам:

$$V = 2\pi f A$$

$$W = 4\pi^2 f^2 A$$

где  $f$  - частота колебаний, Гц;

$A$  - амплитуда колебаний фундамента или грунта, мм.

Затухание амплитуды, а следовательно, скорости и ускорения колебаний с удалением от источника вибрации в глубь или по поверхности грунта подчиняется закономерности (см. [рис.1](#)):

$$A_z = A_0 e^{-\beta z}$$

где  $A_0$  и  $A_z$  - амплитуда колебаний грунта соответственно у вальца (можно принимать равной амплитуде колебаний вальца) и на расстоянии  $Z$ , мм;





$\beta$  - коэффициент затухания колебаний (для сухих и влажных грунтов  $\beta = 0,06 \div 0,10 \text{ м}^{-1}$ ,

для водонасыщенных -  $\beta = 0,03 \div 0,04 \text{ м}^{-1}$ ).

Считается, что риск повреждения зданий и сооружений будет исключен, если скорость колебаний не превышает 2-40 мм/с (в среднем принимают 10 мм/с), а доуплотнения сухого или влажного песка не произойдет, если ускорение его колебаний будет ниже  $(1,2 \div 2,0)g$ , где  $g$  - ускорение свободного падения.

На основе этих критериев рекомендуется устанавливать безопасные для сооружения расстояния при работе виброкатков. Например, фирма "Динапак" (Швеция) принимает:

$$l_{\text{без}} \leq (1,0 \div 1,5)Q$$

где  $l_{\text{без}}$  - безопасное расстояние от сооружения до виброкатка, м;

$Q$  - масса виброкатка, т.

Это значит, что виброкаток, например, массой 8 т не следует приближать к ответственным сооружениям на расстояние ближе 8-12 м (в среднем 10 м).

8.4. В зимнее время прицепной виброкаток А-4, А-8 или А-12 можно нормально эксплуатировать при температуре воздуха не ниже минус 10 - минус 12°C, так как в противном случае возникают трудности с запуском и эксплуатацией дизельного двигателя.

Для устранения этого ограничения, а также в целях экономии горюче-смазочных материалов и аккумуляторов иногда практикуется замена дизельного привода вибратора катка на гидравлический, питаемый от гидронасоса на тягаче.

Такая модернизация целесообразна в случае постоянного использования в качестве тягача общедоступного и энергонасыщенного, т.е. имеющего свободную мощность,



трактора. Для катков А-4 и А-8 рекомендуется колесный тягач Т-150 (Т-158), а для А-12 - тягач "Кировец" К-700А (К-701).

Вместо демонтированного на катке дизельного двигателя устанавливают и соединяют по месту с карданным валом имеющейся трансмиссии гидромотор требуемой мощности: на А-4 - 210.20, на А-8 - 210.25 и на А-12 - 210.32.

Питание гидромотора рекомендуется осуществлять от гидронасоса такого же типоразмера и модели, что и гидромотор. Гидронасос соединяется с валом отбора мощности трактора и устанавливается на последнем по месту.

Параметры (условный проход, давление, производительность, вместимость) соединительных рукавов, трубопроводов, гидрораспределителей, бака для масла и других элементов гидропривода, монтируемого на тягаче, должны соответствовать требуемым.

Гидромоторы и гидронасосы 210.20 и 210.25 по мощности и частоте вращения хорошо вписываются в параметры виброкатков А-4 и А-8 и тягача Т-150 (Т-158). Гидромотор-гидронасос 210.32 по мощности подходит для виброкатка А-12 и тягача К-700А (К-701), а номинальную частоту вращения имеет меньшую (960-1120 об/мин), чем вал отбора мощности тягача (1700 об/мин у К-700А и 1900 об/мин у К-701) и чем требуется для вращения вала вибратора катка (1500 об/мин).

В силу этого гидронасос 210.32 рекомендуется подключать к валу отбора мощности (ВОМ) тягача "Кировец" через карданный вал, муфту сцепления ВОМ, управляемую из кабины тягача и предназначенную для включения или выключения всей гидравлической системы привода вибратора катка ([рис. 2](#)) от дизельного двигателя, и односкоростной понижающий редуктор (до 1000 об/мин). Эта муфта с карданным валом, редуктором и подшипниковыми опорами разработана на ленинградском Кировском заводе и поставляется по отдельному заказу с Тихвинских производств этого завода.

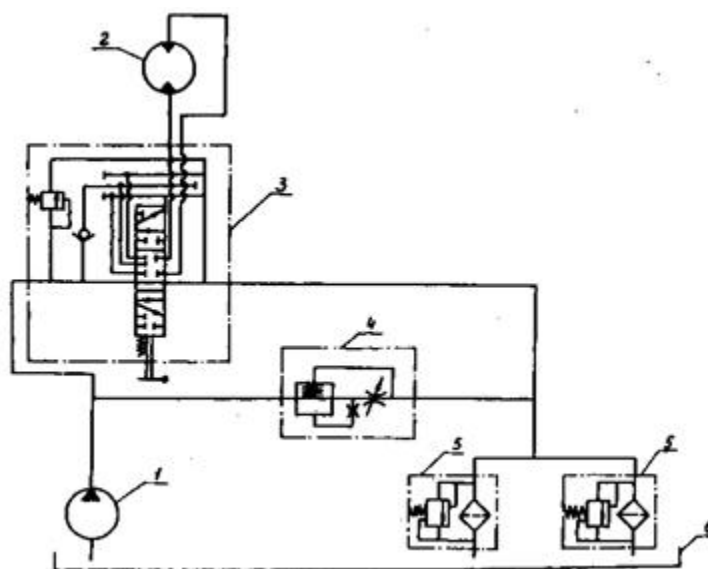
При установке гидромотора 210.32 на каток А-12 вместо дизельного двигателя рекомендуется между гидромотором и карданным валом имеющейся трансмиссии устанавливать промежуточную клиноременную или иную повышающую (в 1,5-1,6 раза) передачу.



Электропитание электромагнитной многодисковой муфты сцепления виброкатка рекомендуется подключать к электросистеме тягача, а освободившиеся на катке аккумуляторы использовать на других дорожных машинах.

Для уравнивания рамы и обеспечения заданного пригруза на валец виброкатка рекомендуется вместо снятых дизельного двигателя и аккумуляторов размещать дополнительный балласт (бетон, металлические балки и т.п.) на раме катка: А-8 массой 850 кг - спереди 100 кг, сзади 750 кг; А-12 массой 1200 кг - спереди 200 кг, сзади 1000 кг.

8.5. После уплотнения несвязного грунта виброкатком плотность по толщине слоя распределяется неравномерно. Наибольшее значение коэффициента уплотнения, достигающее 1,0-1,02, наблюдается на глубине около 40-50 см. Слои насыпи до глубины 15-20 см, как правило, разуплотнены, особенно значительно в одноразмерных маловлажных песках. Вследствие этого отбор проб песка при контроле качества его уплотнения виброкатками рекомендуется производить с глубины не менее 20-25 см. При этом вместо кольцевого метода отбора проб из-за высокой чувствительности песка к ударам и сотрясениям (кольца забиваются в грунт) рекомендуется применять баллонный плотномер, обеспечивающий более высокую точность измерения.



**Рис. 2. Гидравлическая схема привода вибратора модернизированного катка А-12:**



1 - насос 210.32; , 2 - гидромотор; 3 - гидрораспределитель; 4 - дроссель; 5 - фильтр; 6 - бак

8.6. Оценку качества уплотнения виброкатками скальных, крупнообломочных грунтов можно производить по величине осадки поверхности отсыпанного слоя. Степень уплотнения 0,95 будет достигнута в том случае, если накопленная в результате воздействия виброкатка осадка слоя составит не менее 8-10 % его первоначальной толщины, и 0,98 - при осадке не менее 10-12 %.

## Приложение 1

### Техническая характеристика прицепных, шарнирно сочлененных и комбинированных виброкатков, применяемых в СССР для уплотнения земляного полотна и оснований

Параметр	Марка или модель виброкатка, страна-производитель								
	ДУ-52, СССР	ДУ-57, СССР	ДУ-14 (Д-480), СССР	А-4, ГДР	А-8, ГДР	А-12, ГДР	К-12, ГДР	СА-15, Швеция	СА-15, Швеция
Тип катка	К., шс.	Шс.	Пр.	Пр.	Пр	Пр	К., шс.	Шс.	Шс.
Масса общая, т	16,0	20,5	3,05	3,8	8,0	11,8	12,0	6,5	9,0
Масса вибрирующих частей, т	3,7-4,0	8-9	1,5	1,8	4,6	7,7	2,6-2,8	2,0-2,1	3,0



Диаметр вальца, мм	1600	1600	1200	1200	1600	2000	1350	1220	1
Ширина вальца, мм	2000	2400	1400	1500	2000	2000	2100	1670	2
Расчетная амплитуда колебаний вальца, мм	1,4-1,5	1,1-1,3	1,5	1,0-1,1	1,6	1,8	0,5-0,7	0,7-1,4	
Частота колебаний, Гц	26	26,6	30-33	20-33	25	25	50	23-29	2
Максимальная возмущающая сила, тс (кН)	15,0	27,0	8,0	8,2	18,0	36,0	15,0	5-10	1
	(147)	(265)	(78,5)	(80,4)	(176,5)	(353)	(147)	(49-98)	(15)
Наибольшая толщина уплотняемого слоя грунта, см:									
песчаного	60-70	90-100	40-50	40-50	80	100-120	50-60	40-50	
суглинистого	20-25	35-40	10-15	10-15	25-30	40-45	20	15-20	20
Рабочая скорость, км/ч	0-10	0-8	0,5-3,0	1,0-2,5	1,5-5,0	1,5-5,0	0-5	1,5-6,0	1,5
Габаритные размеры катка, м:									



длина	5,7	6,20	3,93	4,85	5,7	6,12	5,8	4,39	5
ширина	2,4	2,70	1,78	1,80	2,4	2,47	2,5	1,60	2
высота	3,4	3,15	1,42	1,60	1,9	2,05	3,3	1,90	2
Мощность двигателя катка, л.с. 1кВт)	150	165	30	36	51	104	92	70	1
	(110,4)	(121,4)	(22,1)	(26,5)	(37,5)	(76,5)	(67,7)	(51,5)	(
Класс тягача, тс, не менее	-	-	1,4	3	5	6	-	-	

Примечание. Тип катка: пр. - прицепной, шс. - самоходный шарнирно-сочлененный, к. - самоходный комбинированный.

## Приложение 2

### Основные технические параметры гусеничных и колесных тягачей для прицепных виброкатков

Параметр	Гусеничные				Колесные		
	ДТ-75В	Т-4А	Т-100М	Т-130	Т-150К	Т-158	К-70
Тяговый класс, тс (кН)	3 (30)	4 (40)	10 (100)	10 (100)	3 (30)	3 (30)	5 (50)
Мощность двигателя номинальная (эксплуатационная), 1 кВт	61 (59)	99 (96)	80 (76)	121 (118)	129(121)	129(121)	221(19



Частота вращения коленчатого вала, об/мин	1800	1700	1070	1250	2100	2100	1900
Скорость перемещения вперед, км/ч	5,5-11,5	3,5-9,5	2,36-10,13	3,7-12,2	3,4-30,1	5,1-44,2	2,9-33
Тяговое усилие, кН	29-11	49-25	-	88-19	44-10	39-5	64-14
Габаритные размеры, мм:							
длина	4670	4505	4255	4393	5795	5540	7400
ширина	1890	1952	2460	2475	2220	2400	2880
высота	2650	2545	3040	3087	3165	2970	3750
Обозначение шин передних и задних колес (ГОСТ 7463-80)					21,3 R <sub>24</sub>	21,3 R <sub>24</sub>	28,1 R <sub>24</sub>
Масса эксплуатационная, кг	6520	8400	11842	14030	8135	8000	13500



### Приложение 3

#### Показатели экономической эффективности технологии уплотнения различных грунтов прицепными виброкатками А-8 и А-12 (ГДР)

Показатель	Значение показателя при уплотнении				
	одноразмерных песков до $K_y = 0,98$ вместо пневмоколесного катка ДУ-16В виброкатками		связного грунта до $K_y = 0,95$ виброкатком А-12 вместе пневмоколесного ДУ-39В	Скоростном - обычных песков до $K_y = 0,95$ вместо обычной технологии виброкатками	
	А-8	А-12		А-8	А-12
Экономия от снижения себестоимости на 1000 м <sup>3</sup> грунта, руб.	21,25	21,27	4,45	3,93	2,37
Изменение удельных капитальных затрат, руб.	-27,90	-26,48	-3,20	-12,18	-14,95
Снижение приведенных затрат на 1000 м <sup>3</sup> грунта, руб.	65,42	65,21	4,95	5,75	4,59
Годовой объем внедрения, тыс.м <sup>3</sup>	4000	4000	4000	4000	4000





Экономия от снижения себестоимости на годовой объем внедрения, руб.	85000	85100	17800	15720	9480
Изменение величины капитальных вложений на годовой объем внедрения, руб,	-111600	-105920	-12800	-487201	-59800
Годовой экономический эффект, руб.	261680	260840	19800	23020	18360
Предпроизводственные затраты, руб.	63760	63760	63760	63760	63760
Годовой экономический эффект с учетом предпроизводственных затрат руб.	259560	258720	17680	20900	16240
Условное количество высвобожденных работающих на годовой объем внедрения, чел.	10,22	12,44	4,3	1,72	0,80
Экономия материальных ресурсов в натуральном выражении на 1000 м <sup>3</sup> грунта, т:  дизельное топливо	0,0495	0,0221	0,0260	0,0115	0,0177



смазочное масло	0,0025	0,0011	1 0,0013	! 0,0006	0,0009
Экономия материальных ресурсов в натуральном выражении на годовой объем внедрения, т:					
дизельное топливо	198,0	88,4	104,0	46,0	54,80
смазочное масло	9,9	4,4	5,2	2,3	3,52

