

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ И
НАЗНАЧЕНИЮ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ПОД УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Канд. техн. наук, доцент **Е.К. Чабуткин**,
канд. техн. наук, доцент **Н.Е. Тарасова**
(Ярославский государственный
технический университет)

Контактная информация: chabutkin-ek@yandex.ru;
tarasovane@ystu.ru

При уплотнении любых дорожно-строительных материалов эффективность процесса во многом зависит от правильного выбора катка как по массе, так и по конструктивным особенностям и назначению режимов его работы, и, в первую очередь, скоростного режима, с определением требуемого числа проходов по одному следу. Даны некоторые обобщенные рекомендации по выбору катков. Эти рекомендации приведены в виде номограмм и получены в результате обобщения данных для большого количества серийно выпускаемых катков разной массы. При этом возможен и выбор режимов их работы, в частности, рациональных скоростей укатки.

Ключевые слова: каток дорожный, уплотнение, скорость рациональная, число проходов, материалы дорожно-строительные.

Уплотнение грунтов и дорожно-строительных материалов относится к числу наиболее важных элементов технологического процесса строительства автомобильных дорог. От качества выполнения этого процесса во многом зависит срок дальнейшей их службы.

В настоящее время существует довольно большой парк уплотняющей техники. При этом каждая из машин имеет свои конструктивные особенности и технологические режимы работы. А если учесть, что все они еще и различаются по массе на легкие, средние и тяжелые, то возникает вопрос о рациональном использовании этой техники.

Выбор типа дорожного катка под конкретные условия строительства обычно не вызывает трудностей. При уплотнении любых дорожно-строительных материалов значительно сложнее подобрать массу катка и режим его работы. Причем от правильного выбора этих параметров во многом зависит эффективность процесса уплотнения. Как было показано ранее [1], при правильном подборе режимов работы уплотняющей машины возможно сокращение времени формирования плотной и проч-

ной структуры материала до 50% по сравнению с общепринятой методикой.

Конечно, процесс уплотнения может быть многовариантным и получить требуемое качество уплотнения возможно любым из соответствующих катков и выбранным для него режимом работы. Но при этом нет никакой гарантии, что для достижения требуемого коэффициента уплотнения придется затратить минимальное время. При использовании современных энергонасыщенных катков фактор сокращения времени их работы (увеличения производительности) выходит едва ли не на первое место.

В результате уплотнения должна быть получена не только требуемая плотность материала по всей толщине слоя, но и сформирована прочная его структура. Это может быть достигнуто лишь при соблюдении определенного режима работы машины. В первую очередь это относится к контактному давлению, которое должно быть близким к пределу прочности материала, но не превышать его не только в конце уплотнения, но и в течение всего процесса. Если нарушить это правило и сразу выбрать то контактное давление, которое должно иметь место лишь в конце процесса уплотнения, когда материал уже плотен и прочен, то при первых проходах будет происходить разрушение структуры, особенно вблизи поверхности. В связи с этим, дальнейшее формирование плотной и прочной структуры будет затруднено, а достигнутые в конечном итоге показатели будут ниже тех, которые получаются при постепенном возрастании контактного давления. О разрушении структуры, например, свидетельствует сильное волнообразование перед вальцами или колесами катков, а также выпирание грунта в стороны.

Таким образом, *постепенное увеличение контактных давлений – основное правило уплотнения, обеспечивающее получение плотной и прочной структуры*. Увеличения контактных давлений можно добиться двумя способами:

- применением комплекта катков с переходом от более легкого к более тяжелому;
- применением машин, позволяющих регулировать величину контактных давлений за счет включения вибрации (вибрационные и комбинированные катки) или регулирования давления воздуха в шинах (пневмошинные катки). Возможно и совмещение этих двух способов для катков комбинированного типа. Разумеется, второй способ более предпочтителен, так как позволяет минимизировать количество используемой техники.

Оптимизация комплекта машин для уплотнения различных дорожно-строительных материалов – задача достаточно сложная. Она мо-

жет быть выполнена, например, с использованием методики, описанной в работе [2]. Проверка данной методики проводилась путем выполнения при помощи разработанного на кафедре СДМ ЯГТУ программного комплекса расчетов рациональных режимов работы для серийно выпускаемых машин. Анализ полученных данных проводился путем сравнения с результатами исследований как отечественных ученых (А.Ф. Зубков, В.П. Ложечко, М.П. Костельов, С.В. Носов, Г.Н. Попов и др.), так и зарубежных ученых, в частности – специалистов фирмы «Дупарас». Расхождение расчетных данных с экспериментальными не превышало 10% практически для всех материалов и типов катков.

Однако некоторые обобщенные рекомендации могут быть получены и без использования программного комплекса. Такие рекомендации приведены в виде номограмм и разработаны на основе сводных данных для большого количества серийно выпускаемых катков разной массы. При этом возможен и выбор режимов их работы, в частности, рациональных скоростей укатки.

Наиболее часто встречаются насыпные грунты, укладываемые слоями определенной толщины. Земляные инженерные сооружения возводятся землеройно-транспортными и транспортными машинами. Под действием движителей этих машин грунты также подвергаются уплотнению. Однако такое уплотнение, как правило, является неравномерным и недостаточным. Поэтому приходится применять уплотняющие машины, работа которых связана с приложением к поверхности грунта повторяющихся циклических нагрузок. При этом деформация грунта зависит от величины нагрузки, определяемой контактными давлениями, а также от скорости изменения напряженного состояния, продолжительности действия нагрузки, а, следовательно, и от числа повторности ее приложения. Число проходов или повторности приложения нагрузки, которое необходимо произвести для достижения требуемой плотности, зависит от толщины уплотняемого слоя. При излишне больших толщинах слоев требуемые плотности грунтов не достигаются. При слишком малых толщинах слоев снижается производительность машин и возрастает стоимость работ.

Кроме того, требуется постепенное увеличение контактных давлений. Только в этом случае можно обеспечить получение плотной и прочной структуры. Поэтому для послойного уплотнения насыпных грунтов используются машины, позволяющие регулировать величину контактных давлений. В основном рекомендуется использовать *катки на пневматических шинах и комбинированные катки*.

При использовании насыпных грунтов в качестве конструктивных слоев автомобильной дороги чаще всего применяются пески и су-

песи. Для каждого типа таких материалов были обработаны данные по числу проходов и скорости перемещения катка при изменяемой массе машины. В результате такой обработки были получены номограммы, показанные на **рис. 1** и **2**. При этом необходимо учитывать, что число проходов катка по одному следу указано при включенном вибраторе. До включения последнего, необходимо выполнить подкатку уплотняемого материала путем двух проходов без включения вибрации на скорости не более 2 км/ч.

Данные номограммы позволяют выбрать каток подходящей массы для уплотнения грунта слоем определенной толщины (обычно оговаривается в проекте строительства автомобильной дороги) с определением производительности машины и выбором скорости укатки.

Например, на **рис. 1** выбран каток массой 13 т – точка *A*. Данным катком требуется уплотнить песок толщиной отсыпаемого слоя 0,6 м – точка *B*. При переходе в точку *B*, определяем необходимое число проходов на определенной скорости (2 км/ч). Так как, для достижения требуемой плотности, необходимо выполнить примерно 2,8 прохода, округляем до целого числа (3 прохода) – переходим в точку *Г*. Для определения производительности, возвращаемся на кривую толщины отсыпаемого слоя 0,6 м – точка *D*.

После этого переходим в точку *E*, расположенную на шкале производительности, и получаем производительность в 200 м³/ч для катка массой 13 т, при уплотнении песка на скорости 2 км/ч.

Следует отметить, что для этого катка и заданной толщины отсыпаемого слоя грунта наиболее рациональная скорость укатки – 4 км/ч. При этом, производительность катка будет выше (примерно 250 м³/ч), несмотря на то, что количество проходов по одному следу увеличивается до четырех, а с учетом подкатки – до 6 проходов.

Проведя таким образом сравнение нескольких вариантов, можно выбрать вариант катка и режим его работы с максимальной производительностью.

Таким же образом можно рассмотреть уплотнение этого же грунта при разных толщинах слоев отсыпки, используя катки различной массы при нескольких скоростях укатки. При этом производительность по каждому варианту будет отличаться. После этого выбирается вариант с наибольшей производительностью.

Следует заметить, что данные номограммы рассчитаны для грунтов, находящихся в увлажненном состоянии (при оптимальной влажности). Если возникает необходимость уплотнения грунтов с влажностью, отличающейся от оптимальной, то полученное число проходов необходимо скорректировать в сторону увеличения.

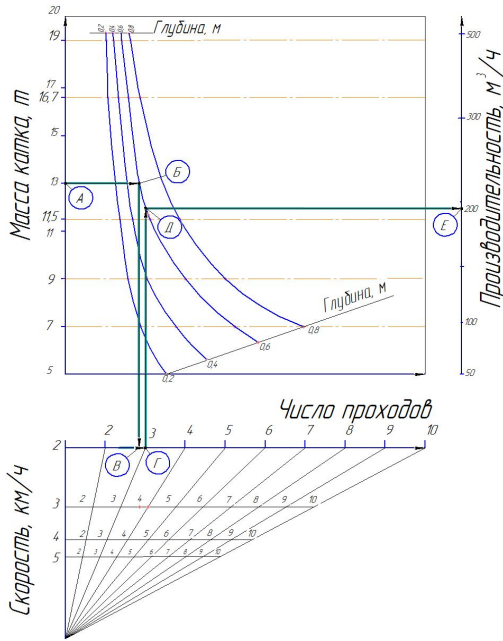


Рис. 1. Номограмма выбора катков для уплотнения песка

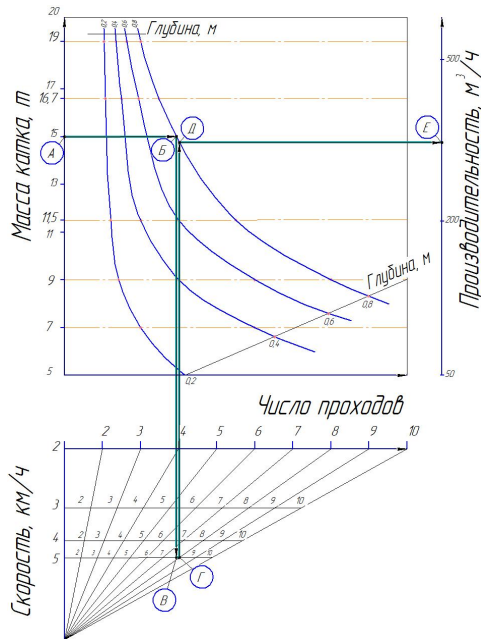


Рис. 2. Номограмма выбора катков для уплотнения супеси

Приблизительно при разнице влажности на 5% в ту или иную сторону число проходов необходимо увеличить на 30%. При отличии влажности в 10% – на 60%.

Однако бóльшее отклонение во влажности грунта (более 10% в ту или иную сторону) нежелательно допускать. В этом случае резко возрастает число проходов по одному следу (до 3 раз), что становится экономически нецелесообразным.

Исключение составляют пески, которые при переувлажнении поддаются качественному уплотнению без увеличения числа проходов.

Приведенные выше рекомендации могут быть использованы для привозных грунтов, отсыпаемых слоями определенной толщины, рекомендованной проектом на строительство.

Зачастую приходится уплотнять и грунты выемок и естественных оснований. Обычно плотность этих материалов ниже требуемых и, соответственно, они также подлежат уплотнению. Необходимая глубина уплотнения зависит от толщины дорожной одежды и глубины промерзания. Обычно такая глубина составляет 0,3...0,4 м, а при неблагоприятных условиях может достигать 0,6...0,8 м. Так как грунты естественного сложения, как правило, оказывают бóльшее сопротивление внешним нагрузкам, чем только что уплотненные насыпные грунты, даже если их плотности и влажности одинаковы, то это создает при их уплотнении некоторые трудности. Поэтому, естественные грунтовые основания, наиболее целесообразно уплотнять *трамбующими машинами*.

Однако использование данного метода повышения плотности грунтов естественного сложения часто бывает затруднено из-за отсутствия соответствующей техники. Поэтому для улучшения естественных оснований часто применяют метод, который сводится к изыманию грунта и последующей послойной его обратной засыпке с уплотнением каждого слоя. При таком методе уплотнению фактически подвергаются уже насыпные грунты, что значительно облегчает этот процесс.

При возведении оснований выемок, подготовленных методом обратной засыпки, могут встречаться более тяжелые грунты по сравнению с привозными песками и супесями. Кроме того, для грунтов с высокой степенью связности практически невозможно осуществлять уплотнение слоями большой толщины. Иначе придется использовать супертяжелые катки. Для таких условий также можно подобрать соответствующие катки по номограммам, представленным на **рис. 3 и 4**.

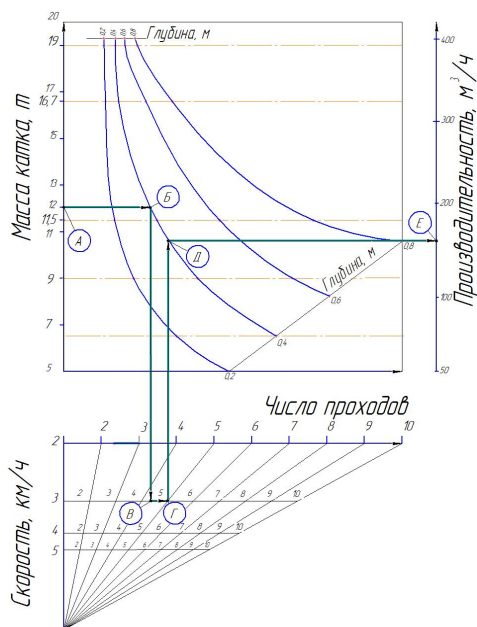


Рис. 3. Номограмма выбора катков для уплотнения легкого суглинка

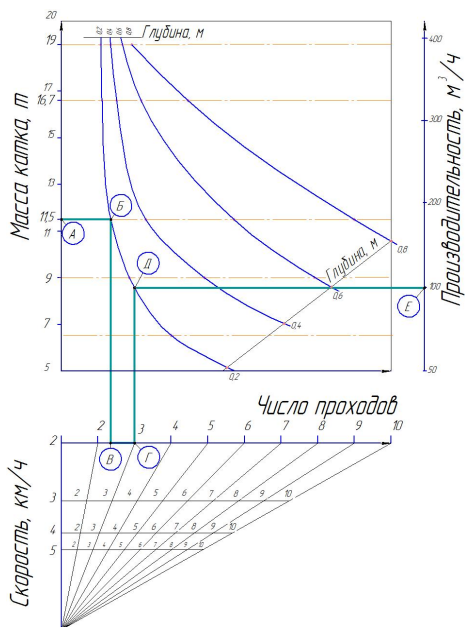


Рис. 4. Номограмма выбора катков для уплотнения суглинка

Анализ номограммы для суглинка показывает, что для слоя обратной засыпки выемки толщиной 0,6 м необходимо использовать каток комбинированного типа массой не менее 10 т, выполняя более 12 проходов по одному следу.

К числу материалов, которые подлежат уплотнению при устройстве дорожных оснований и конструктивных слоев дорожной одежды, относятся песчано-гравийные смеси и щебень. При уплотнении этих материалов происходит сближение частиц и их взаимное заклинивание. Уплотнению препятствуют развивающиеся в местах контактов частиц силы трения и силы сцепления. Благодаря тому, что таких контактов множество и силы сопротивления взаимному смещению частиц различны, при действии нагрузки такие смещения не происходят во всех местах одновременно. В первую очередь смещения происходят там, где сопротивления минимальны. После возрастания нагрузки смещения происходят в новых зонах. Поэтому уплотнение слоев этих материалов не происходит за однократное приложение циклической нагрузки. Для завершения процесса нагрузка должна прикладываться многократно.

Для уплотнения щебеночных и гравийных материалов целесообразно использовать *пневмошинные катки и катки комбинированного действия*. При этом катки на пневматических шинах не дробят щебень и, следовательно, могут уплотнять слои или смеси, составленные из слабых каменных материалов.

Для выбора катков и режимов их работы при уплотнении крупнообломочных материалов можно использовать номограммы, приведенные выше. Но, так как подобный тип материалов характеризуется наличием большого количества крупной каменной составляющей, как уже говорилось выше, уплотнение слоев этих материалов за минимальное количество циклов приложения нагрузки не достигается.

Для таких грунтов целесообразно использовать номограмму, представленную на **рис. 1** или **2**, с коррекцией необходимого числа проходов:

- для грунтов I класса (глина, суглинки, песок с включениями камней, валунов, гальки и т.п. – грунт бескаркасный, крупных обломков с размером включений более 2 мм содержится менее 10% по весу) число проходов катка по одному следу необходимо увеличить в 2 раза;
- для грунтов II класса (каменистая глина, щебенисто-песчаная порода и т.п. – грунт с несовершенным каркасом, крупные обломки с размером включений более 2 мм составляют 10-65% по весу) – в 3 раза;

- для грунтов III класса (валуны с глиной, щебень с суглинками, дресва, галька и т.п. – грунт каркасный, крупнообломочной фракции с размером включений более 2 мм содержится более 65% по весу) – в 4 раза.

Для дорожных покрытий на дорогах разных категорий чаще всего применяют асфальтобетонные смеси. При наличии такого материала, как битум, коренным образом изменяются свойства щебня и гравия, являющихся в составе асфальтобетона тем скелетом, который воспринимает нагрузки. Битум способствует образованию между частицами минерального материала достаточно прочных и вместе с тем вязких связей. Но вязкость битума может изменяться в широких пределах в зависимости от температуры. Поэтому и прочностные свойства асфальтобетона в первую очередь зависят от температуры.

Подбор техники для уплотнения горячих асфальтобетонов является достаточно сложным процессом. При этом должна решаться двойная задача:

- недопущение возникновения излишне высоких давлений катка на уплотняемый слой асфальтобетона, так как в противном случае материал будет выдавливаться из-под вальцов машины, что влечет за собой еще и волнообразование, значительно ухудшающее ровность поверхности;
- обеспечение необходимой плотности в кратчайшие сроки, так как асфальтобетонные смеси укладываются тонкими слоями (0,04...0,1 м), что приводит к достаточно быстрому их остыванию, при этом быстро возрастает сопротивление внешним нагрузкам.

Для нижних слоев асфальтобетонных покрытий целесообразно использовать *катки комбинированного действия и пневмошинные*.

Для верхних слоев – в основном используются *вибрационные катки с гладкими вальцами*. Причем желательно, чтобы все рабочие органы были приводными.

Для устройства слоев износа желательно использовать *легкие пневмошинные катки*.

Как отмечалось ранее, асфальтобетон является одним из наиболее сложных строительных материалов, в состав которого входят щебень, природный (дробленый) песок, минеральный порошок и битум в рационально подобранном соотношении. Многообразие количественных соотношений исходных материалов в асфальтобетонной смеси – ее состав и структура – определяет, в конечном счете, получение асфальтобетона с широким спектром физико-механических свойств.

Для любого типа асфальтобетонных покрытий возможно достижение требуемой плотности при использовании одного катка или комплекта катков. Причем, чаще всего применяются комплекты катков. Это зависит и от толщины укладываемого слоя, и от скорости остывания свежеложенного асфальтобетонного покрытия.

На **рис. 5** представлена номограмма для подбора катка, применительно к песчаным асфальтобетонным смесям, при температуре окружающего воздуха 20 °С и длины захватки 25 м. Скорость катка – 2 км/ч.

Процесс выбора катка начинается с заданной проектом толщины уплотняемого слоя (точка *A* на **рис. 5**). Переходим в точку *B*, находящуюся на границе зоны возможного уплотнения одним катком и перемещаемся на ось массы катка – точка *B*. Выбираем ближайший больший по массе каток из имеющегося парка уплотняющей техники. Далее осуществляем возврат на границу зоны уплотнения одним катком (точка *D*) и переходим на ось толщины слоя нижней части номограммы – точка *E*.

Так как заданная толщина слоя по проекту несколько меньше, возвращаемся на эту толщину – точка *Ж*. Далее определяем требуемое число проходов для катка выбранной массы – совмещение точки *И* с точкой *З*, полученные на пересечении вертикальной линии, идущей из точки *Ж*. Если полученная точка дает нецелочисленное значение числа проходов, то выбираем ближайшее большее число проходов катка, обеспечивающее требуемый коэффициент уплотнения.

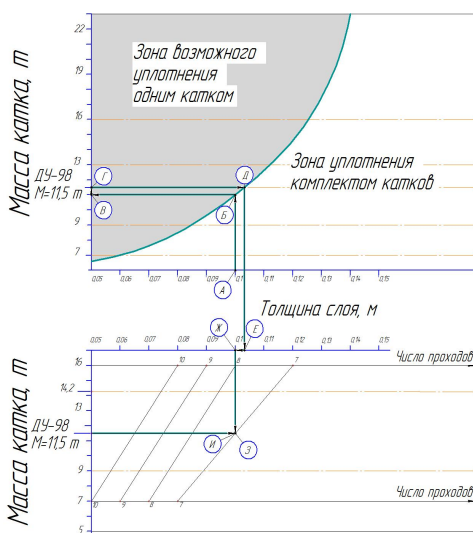


Рис. 5. Номограмма выбора катков для уплотнения асфальтобетонной смеси

Если потребуется уложить асфальтобетон для других условий (температура воздуха более низкая, длина захватки – большая), то требуется увеличить полученное значение числа проходов в процентном соотношении к изменившимся условиям. Например, при укладке асфальтобетонных покрытий при температуре воздуха, равной 10 °С, необходимо увеличить число проходов в 1,5 раза (на 50%).

При уплотнении покрытий из крупнозернистых асфальтобетонных смесей и из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей полученное число проходов необходимо увеличить на 25...30%. Если в соответствии с проектной документацией необходимо устроить покрытия из асфальтобетона слоями большей толщины, то с учетом того, что качественное уплотнение одной машиной невозможно, необходимо подобрать комплект катков, а расчет режимов уплотнения произвести с использованием программного комплекса [2]. Причем исходными данными для начала работы второго катка (температура смеси, исходный коэффициент уплотнения и т.д.) будут являться параметры, полученные по окончании работы первого катка.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные в работе номограммы позволяют подобрать необходимый по массе катков, режим его работы и требуемое число проходов по одному следу для обеспечения требуемой плотности различных дорожно-строительных материалов.
2. Методика может быть использована как на стадии разработки проекта автомобильной дороги при назначении средств механизации для уплотнения отдельных конструктивных слоев, так и на стадии строительства при выборе катков из имеющегося парка машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гросс А.Р. *Согласование работы нескольких катков при уплотнении различных дорожно-строительных материалов* / А.Р. Гросс, В.Н. Петухов, А.Ю. Прусов, Е.К. Чабуткин // *Дороги и мосты*. – 2007. – № 1. – С. 82-92.
2. Чабуткин Е.К. *Методика расчета режима работы вибрационного катка при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей* / Е.К. Чабуткин, И.С. Тюремнов, Ю.Г. Попов // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. – 2012. – № 5. – С. 19-24.

LITERATURA

1. Gross A.R. Soglasovanie raboty neskol'kih katkov pri uplotnenii razlichnyh dorozhno-stroitel'nyh materialov / A.R. Gross, V.N. Petuhov, A.Ju. Prusov, E.K. Chabutkin // *Dorogi i mosty*. – 2007. – № 1. – S. 82-92.
2. Chabutkin E.K. Metodika rascheta rezhima raboty vibracionnogo katka pri uplotnenii gorjachih asfal'tobetonyh smesej / E.K. Chabutkin, I.S. Tjuremnov, Ju.G. Popov // *Vestnik komp'juterных i informacionnyh tehnologij*. – 2012. – № 5. – S. 19-24.

RECOMMENDATIONS ON SELECTION OF ROAD ROLLERS AND MODES WORK ASSIGNMENT UNDER CONSTRUCTING CONDITIONS

*Ph. D. (Tech.), Associate Professor E.K. Chabutkin,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor N.E. Tarasova
(Yaroslavl State Technical University)
Contact information: chabutkin-ek@yandex.ru;
tarasovane@ystu.ru*

When compacting all road construction materials the process efficiency considerably depends on correct selection of road roller as by weight, design features and modes work assignment and, primarily, speed range, determining the required passes number in the same track. Some recommendations on road rollers selection are summarized. These recommendations are given in the form of nomograms and are obtained as a result of data compilation for a large number of commercially available rollers of different mass. While it is possible to select their work modes, in particular, rational rolling speeds.

Key words: *road roller, compacting, rational speed, passes number, road construction materials.*

Рецензент: канд. техн. наук Г.С. Бахрах (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 15.11.2016 г.