

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.85.002.237

*МАТУА ВАХТАНГ ПАРМЕНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
vpmatua@mail.ru
ИСАЕВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ, аспирант,
evgenyisaev91@mail.ru
ЧИРВА ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
dimache80@gmail.ru
Ростовский государственный строительный университет,
344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162*

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

В статье рассмотрены проблемы колееобразования вследствие накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна. Основное внимание уделяется влиянию степени уплотнения грунтов земляного полотна на накопление остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций. Авторами предлагается методика исследования связных грунтов на накопление остаточных деформаций на приборе динамических испытаний. Проведены испытания грунтов по данной методике. На основе проведенных испытаний проанализированы их результаты.

Ключевые слова: грунт; динамические нагрузки; коэффициент уплотнения; остаточные деформации; влажность.

*VAHTANG P. MATUA, DSc, Professor,
vpmatua@mail.ru
EVGENY N. ISAEV, Research Assistant,
evgenyisaev91@mail.ru
DMITRIY V. CHIRVA, PhD, A/Professor,
dimache80@gmail.ru
Rostov State University of Civil Engineering,
162, Sotsialisticheskaya St., 344022, Rostov-On-Don, Russia*

RESEARCH METHODS OF RESIDUAL DEFORMATION DEVELOPED BY SOIL COMPACTION

This article considers the problems of rutting caused by the accumulation of permanent strains in the subgrade soil. The main attention is paid to the degree of subgrade soil compaction affecting the development of residual deformation in road structural elements. The methodology is suggested to investigate cohesive soils that develop residual deformations using the dynamic testing machine. The obtained results are analyzed using the dynamic soils tests.

Keywords: soil; dynamic loads; compaction factor; residual deformation; moisture.

Актуальной проблемой отечественной дорожной отрасли является колееобразование вследствие накопления остаточных (пластических) деформаций в слоях дорожных конструкций, в том числе в грунте рабочего слоя земляного полотна. Опыт эксплуатации автомобильных дорог и полевые исследования показывают, что накоплению остаточных деформаций и колееобразованию подвержены дорожные конструкции различных типов, включая одежды со слоями из материалов, укрепленных цементом.

Развитие неровности на поверхности покрытия является одним из основных факторов, способствующих ухудшению эксплуатационного состояния автомобильной дороги. С точки зрения механики неровность обусловлена накоплением неравномерно распределенных необратимых деформаций в различных слоях дорожной конструкции. Этот процесс наблюдается в течение достаточно длительного промежутка времени, т. к. разовые воздействия транспортных средств, как правило, не приводят к образованию зон необратимых деформаций.

В процессе эксплуатации ровность покрытия в значительной степени изменяется вследствие накопления неравномерных остаточных деформаций в грунте земляного полотна и в конструктивных слоях дорожной одежды. При воздействии нагрузки от транспортных средств и природно-климатических факторов грунт земляного полотна особенно подвержен накоплению остаточных деформаций в системе «дорожная одежда – земляное полотно», что в значительной степени определяет работоспособность всей дорожной конструкции.

Качество уплотнения грунтов земляного полотна во многом определяет транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги.

Повышение эксплуатационной плотности грунтов земляного полотна является неотложной и комплексной задачей. Следует признать, что отечественные нормы на проектирование автомобильных дорог отстают от современных требований к их потребительским качествам.

В настоящее время основные требования к технологии возведения земляного полотна автомобильных дорог и к грунтам, применяемым в дорожном строительстве, изложены в документах¹.

К грунтам, разрешенным к применению в дорожном строительстве, предъявляется целый ряд требований, наиболее значимым из которых является

¹ СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85 : утв. М-вом регионального развития Российской Федерации ; ввод в действие 01.07.2013. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85* : утв. М-вом регионального развития Российской Федерации ; ввод в действие 01.07.2013.

ся коэффициент уплотнения. Требуемым значением коэффициента уплотнения грунта земляного полотна для условий IV и V дорожно-климатических зон является 0,98; при этом в неподтопляемой части насыпи допускается использовать грунт с коэффициентом уплотнения 0,95, а в рабочем слое выемки ниже зоны сезонного промерзания – 0,95–0,92.

Малые, но при этом допустимые значения коэффициента уплотнения могут становиться причинами возникновения процессов неравномерного доуплотнения грунтов, которые, в свою очередь, оказывают влияние на процессы колееобразования.

В связи с этим сегодня остро встает вопрос обоснования необходимости повышения степени уплотнения грунтов и способов достижения высоких показателей плотности [1].

На долговечность и эксплуатационное состояние автомобильной дороги существенное влияние оказывает температурно-влажностный режим работы грунта земляного полотна [2].

Как известно, изменение влажности, прежде всего, сказывается на способности грунта выдерживать расчетные нагрузки, предусмотренные на этапе проектирования. Повышенная влажность подстилающих слоев грунта снижает как прочностные и деформационные характеристики, так и существенно изменяет его реологические и динамические свойства. Наиболее опасные последствия может вызвать повышенная влажность, близкая к влажности на границе текучести. В этом случае происходит резкое снижение его прочностных и деформационных характеристик, существенно снижается способность сопротивляться динамическому воздействию транспортных средств, что приводит к ускоренному процессу накопления остаточных деформаций. Получение зависимости величины и скорости накопления остаточных деформаций от влажности и действующей на грунт нагрузки позволило бы более детально изучить влияние погодно-климатических факторов на грунт земляного полотна и дорожную конструкцию в целом. В связи с этим возникла необходимость разработки методики испытания грунтов земляного полотна на накопление остаточных деформаций под воздействием расчетных динамических нагрузок.

С целью получения подобных зависимостей в ДорТрансНИИ РГСУ разработан прибор динамических испытаний (прибор внесен в госреестр, регистрационный № 54987-13) [3], позволяющий проводить лабораторные исследования устойчивости грунтов и других дорожно-строительных материалов к динамическому воздействию нагрузки в пределах 50–600 кг, прикладываемой с частотой от 1 до 25 Гц (рис. 1) [4]. Правообладателем прибора является ГК «Автодор».

Оценка устойчивости грунтовых образцов на накопление остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок определяется на образцах, полученных уплотнением грунтов в стальных формах. Геометрические размеры образцов выбраны на основании проведенного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС), учитывающего потребность в минимизации размеров образцов с учетом обеспечения бокового обжатия из самого же материала.

Как известно, остаточные деформации в грунте земляного полотна накапливаются преимущественно в расчетный период года. В связи с этим испытание

образцов грунта на приборе динамических испытаний (ПДИ) было решено проводить при влажности, соответствующей расчетному периоду на участке строительства дороги, с учетом типа местности по условиям увлажнения.

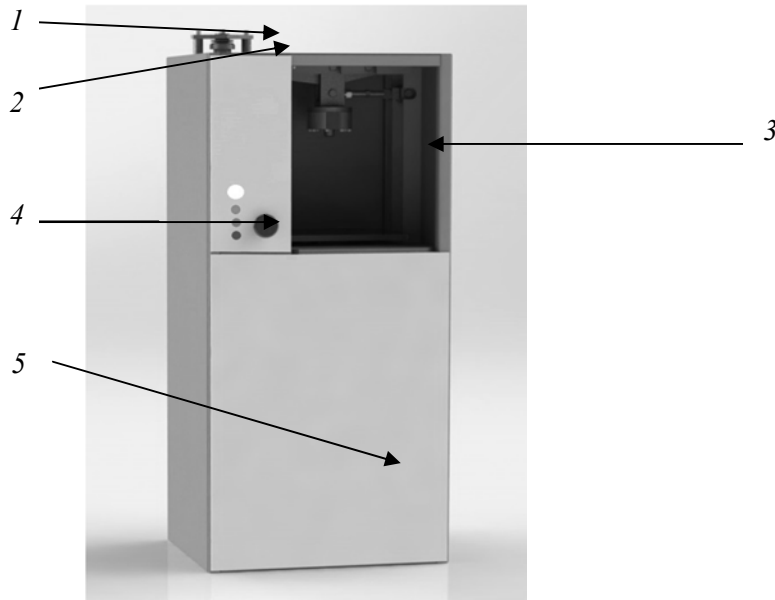


Рис. 1. Общий вид прибора динамических испытаний:

1 – натяжитель-фиксатор пружин; 2 – комплект пружин; 3 – камера термостатирования; 4 – элементы управления и индикация; 5 – элементы обшивки

Определение расчетной (необходимой) влажности в долях от границы текучести грунта проводилось в соответствии с ОДН 218.046 (прил. 2).

Для определения плотности грунта, соответствующей значению расчетной влажности, проводилось испытание методом стандартного уплотнения², при этом испытание проводилось до достижения значения влажности, которая считается расчетной для данного типа грунта и участка местности по условиям увлажнения (рис. 2).

Приготовление образца проводили на прессе, используя ранее определенные параметры (расчетную влажность и плотность грунта). Уплотнение проводилось до тех пор, пока не была достигнута требуемая высота грунтового образца (100 мм). Далее образцы взвешивались, измерялись их геометрические размеры для определения объема и проверки плотности скелета грунта. Отклонение полученной плотности образца, вызванное потерей материала при формовке, не должно превышать отклонения от расчетной плотности более чем на 1 %.

Образцы из грунтов покрывались слоем парафина толщиной 0,5–1 мм для минимизации потерь влаги. Непосредственно перед испытанием для обеспечения точности эксперимента очищали от парафина нижнюю плоскость образца и место расположения штампа в верхней плоскости.

² ГОСТ 22733–2002. Грунты метод лабораторного определения максимальной плотности.

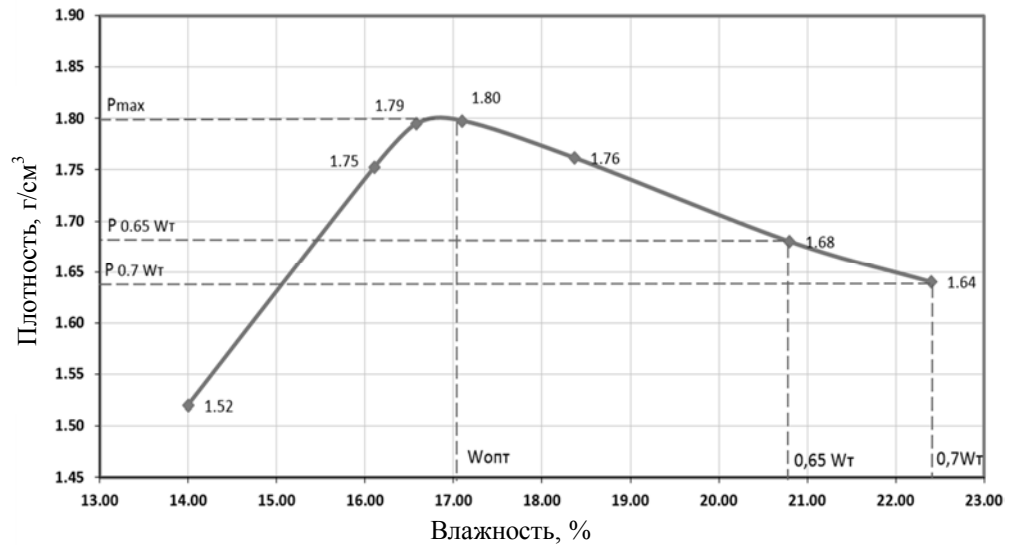


Рис. 2. Пример определения расчетной плотности грунта, соответствующей значению расчетной влажности

Далее образцы помещались в стальную форму бокового обжатия, промежуток между стенками формы и образца заполнялся гипсовым раствором. После чего образец помещался в прибор (ПДИ), и проводилось испытание. Ниже в качестве примера на рис. 3 представлен график накопления остаточных деформаций в образце из суглинка тяжелого пылеватого с числом пластичности $I = 13$, расчетной влажностью $W_p = 0,75W_T$ и коэффициентом уплотнения $K_y = 0,98$. Грунт земляного полотна оценивали по критерию накопления остаточных деформаций после 400 000 приложений расчетной нагрузки.

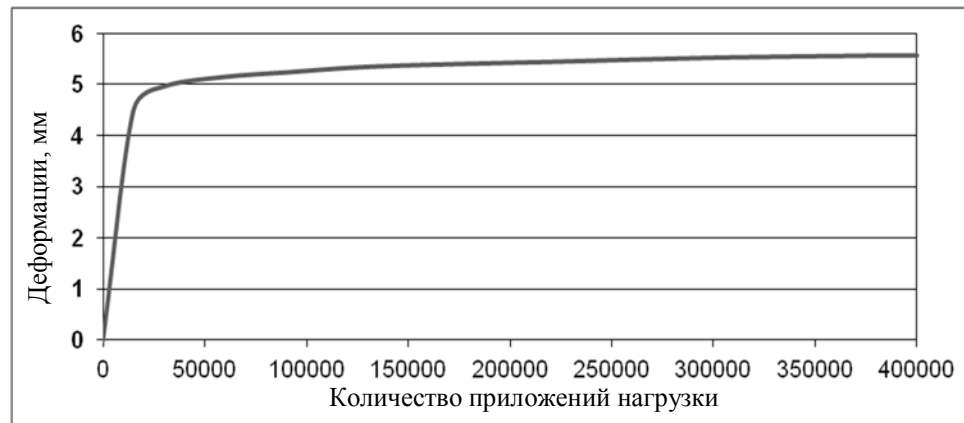


Рис. 3. График накопления остаточных деформаций суглинка с $K_y = 0,98$ при $W_p = 0,75W_T$

В результате многолетних полевых и лабораторных исследований, проведенных в ДорТрансНИИ РГСУ, были разработаны предельно допустимые

значения остаточных деформаций для грунта рабочего слоя земляного полотна, которые представлены в табл. 1. Также были определены пределы изменения расчетной влажности W_p (в долях от влажности на границе текучести) связных грунтов в зависимости от коэффициента уплотнения и типа местности по условиям увлажнения (табл. 2).

Таблица 1

Предельно допустимые остаточные деформации для грунта рабочего слоя земляного полотна при их испытании на ПДИ

Наименование материала	Назначение в слое дорожной конструкции	Предельно допустимые остаточные деформации материала на приборе (ПДИ) за 400 000 приложений расчетной нагрузки в зависимости от класса транспортной нагрузки		
		Класс транспортной нагрузки		
		Средний	Высокий	Сверхвысокий
Песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые грунты (при W_p)	Рабочий слой земляного полотна	4,5	4,0	3,5

Таблица 2

Пределы изменения расчетной влажности W_p (в долях от влажности на границе текучести) связных грунтов в зависимости от коэффициента уплотнения и типа местности по условиям увлажнения

Коэффициент уплотнения грунта земляного полотна K_y	Относительная влажность W_p/W_t	
	I тип местности по условиям увлажнения	II и III тип местности по условиям увлажнения
1,04	0,5	0,6
1,02	0,55	0,65
1,00	0,6	0,7
0,98	0,65	0,75

В случае превышения значения предельно допустимой остаточной деформации в образцах грунта для рабочего слоя земляного полотна (табл. 1) коэффициент уплотнения грунта корректируется в большую сторону с целью снижения скорости накопления влаги грунтом земляного полотна в расчетный период и тем самым снижения его расчетной влажности в соответствии с полученными ранее расчетной влажности связных грунтов в зависимости от коэффициента уплотнения и типа местности по условиям увлажнения (табл. 2).

По результатам испытания суглинка тяжелого пылеватого остаточные деформации составили 5,6 мм (рис. 3), что превышает предельно допустимые значения (табл. 1). С учетом этого коэффициент уплотнения откорректирова-

ли до 1,00, а расчетную влажность соответственно до $0,7W_T$. Далее проводились повторные испытания при откорректированных значениях, результаты которых представлены на рис. 4.

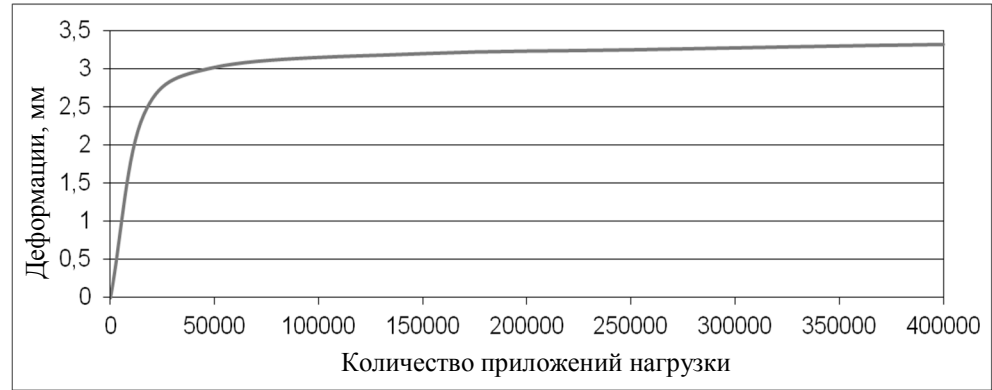


Рис. 4. График накопления остаточных деформаций суглинка с $K_y = 1,00$ при $W_p = 0,7W_T$

По результатам повторного испытания остаточные деформации составили 3,3 мм, что не превышает предельно допустимых деформаций.

Анализ проведенных исследований показал, что с целью обеспечения устойчивости земляного полотна в течение всего срока эксплуатации рассматриваемой автомобильной дороги коэффициент уплотнения грунта рабочего слоя насыпи в данном случае необходимо увеличить до $K_y = 1,00$. Это позволит замедлить процессы водонасыщения грунта и минимизирует накопление остаточных деформаций в расчетный период эксплуатации дороги.

Применение разработанной методики обоснованной корректировки коэффициента уплотнения грунта рабочего слоя земляного полотна в каждом конкретном случае позволит снизить скорость накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна и увеличить устойчивость всей дорожной конструкции к воздействию динамических нагрузок и погодно-климатических факторов, что приведет к увеличению межремонтных сроков.

На основании проведенных испытаний разработаны СТО и методика исследования дорожно-строительных материалов на накопление остаточных деформаций на приборе динамических испытаний, утвержденные ГК «Автодор».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солодов, В.В. Исследование влияния степени уплотнения грунта земляного полотна на накопление остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций / В.В. Солодов, В.П. Матуа // Автомобильные дороги. – 2014. – № 8. – С. 70–77.
2. Леонович, И.И. Водно-тепловой режим земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко. – Минск : БНТУ, 2013. – 332 с.
3. Пат. 152287, Российская Федерация. Прибор динамических испытаний / В.П. Матуа, Д.В. Чирва, Д.Ю. Снитко, С.А. Мирончук, С.В. Сизонец, В.В. Солодов (Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.28.042.A № 52444, выданное Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии РФ).

4. Энергоэффективное оборудование для обеспечения качества асфальтобетонов / С.А. Мирончук, В.П. Матуа, Ю.Я. Никулин, Е.Н. Исаев // Научное обозрение. – 2014. – № 7. – Ч. 3. – С. 884–887.

REFERENCES

1. Solodov V.V., Matua V.P. Issledovanie vliyaniya stepeni uplotneniya grunta zemlyanogo polotna na nakoplenie ostatochnykh deformatsiy v elementakh dorozhnykh konstruksiy [Investigations of degree of soil compaction developing residual deformation in road structural elements]. *Avtomobil'nye dorogi*. 2014, No. 8. Pp.70–77. (rus)
2. Leonovich I.I., Vyrko N.P. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna [Water and temperature condition of subgrade]. Minsk : BNTU Publ., 2013. 332 p. (rus)
3. Matua V.P., Chirva D.V., Snitko D.Ju., Mironchuk S.A., Sizonec S.V., Solodov V.V. Pribor dinamicheskikh ispytaniy [Dynamic test machine]. Pat Rus. Fed. N 152287. (rus)
4. Mironchuk S.A., Nikulin Yu.Ya., Isaev E.N. Energoeffektivnoe oborudovanie dlya obespecheniya kachestva asfal'tobetonov [Energy efficient equipment for asphalt concrete quality improvement]. *Science Review*. 2014. No. 7. Pp. 884–887. (rus)