

DOI: 10.15593/24111678/2017.01.09

УДК 625.72

**А.В. Черепанова, Л.С. Щепетева, В.Ю. Кузнецов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

Одним из распространенных видов деформаций земляного полотна является оползание откосов. Для проверки устойчивости откосов применяют расчетные схемы, основанные на анализе перемещений грунта при разрушениях, наблюдавшихся в практике дорожного строительства. В настоящее время используют следующие основные методы расчета устойчивости откосов высоких насыпей: расчет по схеме обрушения со срезом и вращением (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения); расчет по схеме скольжения и оползня-сдвига (ломаная поверхность скольжения); расчет по схеме скола при просадке (расчет на выдавливание); расчет откоса по условию равноустойчивости.

При выполнении расчетов общей устойчивости откосов земляного полотна важно правильно выполнить оценку инженерно-геологической обстановки, выбрать расчетную схему, определить расчетные характеристики грунта земляного полотна. Анализ нормативных документов, регламентирующих назначение расчетных характеристик грунта, показывает, что нет единого подхода к решению данного вопроса. Расчетные характеристики грунта должны соответствовать наиболее неблагоприятному времени года – периоду наибольшего увлажнения.

Годовой цикл водно-теплового режима земляного полотна в условиях, например, второй дорожно-климатической зоны включает следующие характерные периоды: предзимний – первоначальное накопление влаги осенью; морозный – промерзание, перераспределение и накопление влаги в земляном полотне зимой; весенний – оттаивание земляного полотна и переувлажнение грунта весной; летний – просыхание земляного полотна летом.

Для определения наибольшей расчетной влажности грунта земляного полотна и соответствующих этой влажности расчетных характеристик грунта необходимо выполнять исследования по определению плотности, влажности грунтов в различных климатических условиях.

**Ключевые слова:** устойчивость откосов, автомобильные дороги, земляное полотно, метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, расчетные характеристики грунта.

**A.V. Cherepanova, L.S. Shchepeteva, V.Iu. Kuznetsov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **THE APPOINTMENT OF THE DESIGN CHARACTERISTICS OF SOILS IN THE CALCULATION OF THE SLOPE STABILITY OF THE SUBGRADE OF THE ROAD**

One of the common types of deformations is slumping slopes. To check slope stability of the subgrade computational scheme based on the analysis of the displacement of the soil by destruction observed in the practice of road construction. Currently, the following basic methods of calculating the stability of slopes of high embankments: payment scheme collapse with shear and rotation (method

kropiewnicki sliding surfaces); payment scheme slide and landslide-shift (broken sliding surface); the calculation scheme of the chip with the drawdown (calculated on squeezing); the calculation of the slope according to the condition of rovoselmash.

When performing the calculations, the overall slope stability of the subgrade, it is important to evaluate the engineering-geological conditions, choose the design scheme, to determine the settlement characteristics of the soil subgrade. The analysis of normative documents regulating the appointment of the design characteristics of the soil, shows that no uniform approach to the issue. The design characteristics of the soil should correspond to the most unfavorable period of the year – the period of greatest moisture.

The annual cycle of water-thermal regime of the subgrade in terms of, for example, the second road-climatic zone consists of the following typical periods: the pre-winter period – the initial accumulation of moisture in the fall; the freezing period – freezing, redistribution and accumulation of moisture in the roadbed in the winter; the spring – thawing of the subgrade and waterlogging of the soil in the spring; summer drying of the subgrade in the summer.

To determine the highest calculated soil moisture of the subgrade and the moisture calculated soil characteristics necessary to perform studies to determine the density-moisture of soils in various climatic conditions.

**Keywords:** stability of slopes, roads, subgrade, method kropiewnicki sliding surfaces, design characteristics of the soil.

Оползание откосов под действием собственного веса грунта при неблагоприятных природно-климатических условиях – один из наиболее распространенных видов деформаций земляного полотна. Оползание (нарушение общей устойчивости) откосов возможно в тех случаях, когда прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения и сцепление – не соответствуют крутизне откоса. Прочностные характеристики грунта существенным образом зависят от его влажности, которая меняется в течение года и более длительных периодов эксплуатации земляного полотна. Для обеспечения прочности и устойчивости земляного полотна при расчетах устойчивости откосов важно правильно назначать прочностные характеристики грунта.

Для проверки устойчивости откосов земляного полотна используют расчетные схемы, основанные на анализе перемещений грунта при разрушениях, наблюдавшихся в практике дорожного строительства [1–12].

Можно выделить ряд основных методов расчета устойчивости откосов высоких насыпей:

- 1) расчет по схеме обрушения со срезом и вращением (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения);
- 2) расчет по схеме скольжения и оползня-сдвига (ломаная поверхность скольжения);
- 3) расчет по схеме скола при просадке (расчет на выдавливание);
- 4) расчет откоса по условию равноустойчивости.

Метод круглоцилиндрических поверхностей сдвига нашел широкое применение на практике как наиболее универсальный. Он позволяет:

- учесть неоднородность грунтового массива по всей высоте откоса;
- оценить устойчивость откосов различного очертания при любой форме склона и бровки откоса;
- учесть действие внешних поверхностных и объемных сил (в том числе и фильтрационных) [4].

Метод круглоцилиндрических поверхностей основывается на опытных данных, свидетельствующих, что при оползнях вращения очертание поверхности скольжения практически соответствует *круглоцилиндрической*. Задавшись формой поверхности скольжения и зная силы, действующие на ее границе, можно составить уравнения статического равновесия и вывести условие устойчивости откоса [5, 6].

Для того чтобы учесть свойства различных грунтов, слагающих откос и нагрузки, приложенные в различных зонах откоса, область обрушения откоса разбивается на отдельные блоки с вертикальными стенками. Расчетная схема для данного метода приведена на рис. 1, 2 [12].

Намечают серию кривых скольжения, для каждой из которых определяется расчетное значение коэффициента устойчивости, сравниваемое с нормативным значением коэффициента устойчивости. Устойчивость откоса считается обеспеченной, если выполняется условие  $K_p \geq K_n$ , где  $K_n = 1,1-1,5$ .

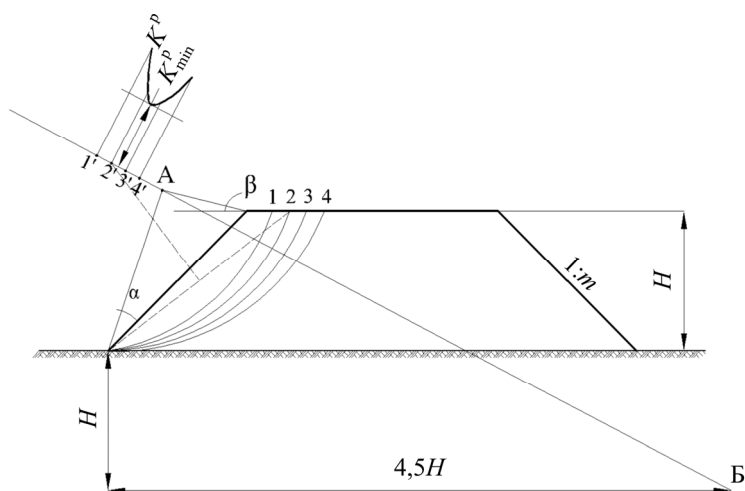


Рис. 1. Расчетная схема метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения

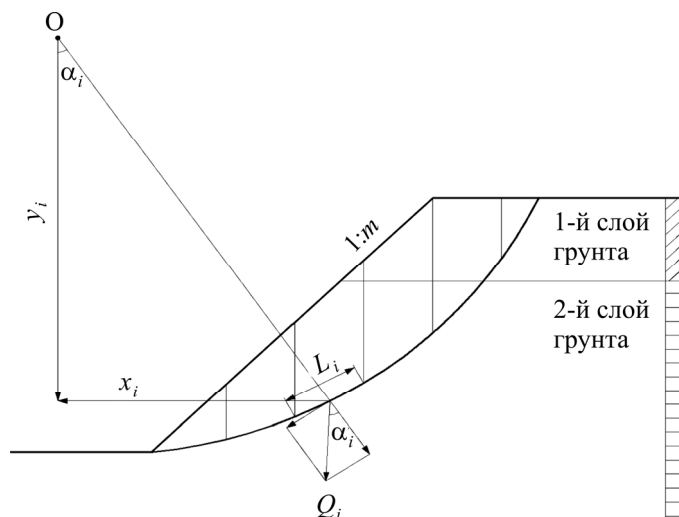


Рис. 2. Разбивка оползающей части откоса на призмы

Величина коэффициента устойчивости представляет отношение суммы моментов удерживающих сил к сумме моментов сдвигающих сил:

$$K_p = \frac{\sum M_{\text{уд}}}{\sum M_{\text{сдв}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i f \cos \alpha_i + c l_i) R}{\sum_{i=1}^n R Q_i \sin \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i Y_i) \text{tg} \varphi + c L R}{\sum_{i=1}^n Q_i X_i},$$

где  $Q_i$  – вес призмы;  $f$  – коэффициент внутреннего трения грунта,  $f = \text{tg} \varphi$ ;  $\alpha_i$  – угол наклона поверхности скольжения в пределах призмы;  $c$  – сцепление;  $l_i$  – длина участка дуги скольжения в пределах призмы;  $R$  – радиус кривой скольжения;  $X_i, Y_i$  – координаты точек приложения равнодействующих веса грунта;  $L$  – длина дуги скольжения от подошвы откоса до низа трещины, образующейся перед моментом оползания.

Основные допущения метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения:

1. Поверхность скольжения принимается круглоцилиндрической с центром вращения в точке  $O$ .
2. Вес грунта и внешние силы определяются в пределах элементарного блока с вертикальными стенками, их равнодействующая условно прикладывается по границе скольжения.
3. Элементарные блоки не давят друг на друга.

4. В пределах нижней грани блока прочностные свойства грунта принимаются постоянными (поэтому нижняя грань блока должна лежать в пределах одного инженерно-геологического элемента).

5. В пределах нижней грани блока поверхность сдвига принимается плоской.

Надежность расчета устойчивости откосов в значительной степени определяется достоверностью принятых значений расчетных характеристик грунтов.

Основными свойствами механических свойств грунтов для расчетов устойчивости откосов являются сдвиговые характеристики – угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $c$ . Определение расчетных значений этих характеристик – одна из основных задач инженерно-геологических изысканий. Допускается использовать табличные данные нормативной литературы [1].

Характеристики для расчета устойчивости откосов земляного полотна по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения принимаются по ГОСТ 33063–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов» (табл. В.8), а также по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» (табл. Б.2).

Таким образом, очевидно, что в разных нормативных документах подход к назначению расчетных характеристик грунта различный: в табл. 1 указана соответствующая плотность грунта; в табл. 2 учитывается значение коэффициента пористости грунта. При этом характеристики грунта берутся из таблиц в зависимости от значения показателя текучести  $I_L$ .

Таблица 1

Частная классификация и расчетные значения показателей механических свойств глин

| Разновидность грунта |  | Подвид по пластичности | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Показатели механических свойств |                               |                        |
|----------------------|--|------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Наименование         | Определяющий признак (показатель текучести $I_L$ ) |                        |                              | Сцепление, МПа                  | Угол внутреннего трения, град | Модуль деформации, МПа |
| Мягкопластичный      | 0,5–0,75   | Супесь                 | 1,90                         | 0,005                           | 20                            | 38                     |
|                      |  | Суглинок               | 1,90                         | 0,015                           | 17                            | 19                     |
|                      |  | Глина                  | 1,95                         | 0,020                           | 14                            | 2                      |
| Текучепластичный     | 0,75–1,0   | Супесь                 | 1,85                         | 0,002                           | 18                            | 19                     |
|                      |  | Суглинок               | 1,85                         | 0,010                           | 13                            | 12,5                   |
|                      |  | Глина                  | 1,90                         | 0,010                           | 8                             | 3                      |
| Текучий              | 1,0  | Супесь                 | 1,85                         | 0                               | 14                            | 12,5                   |
|                      |  | Суглинок               | 1,85                         | 0,005                           | 10                            | 6                      |
|                      |  | Глина                  | 1,80                         | 0,005                           | 6                             | 3                      |

Таблица 2

Нормативные значения удельного сцепления  $c_n$ , кПа, угла внутреннего трения  $\varphi_n$ , град, глинистых нелессовых грунтов четвертичных отложений

| Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести $I_L$ |                     | Обозначения характеристик грунтов | Характеристики грунтов при коэффициенте пористости $e$ , равном |      |      |      |      |      |      |
|---|---------------------|-----------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|
|   |                     |                                   | 0,45  | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1,05 |
| Супеси  | $0 < I_L < 0,25$    | $c$                               | 21  | 17   | 15   | 13   | –    | –    | –    |
|   |                     | $\varphi$                         | 30  | 29   | 27   | 24   | –    | –    | –    |
|   | $0,25 < I_L < 0,75$ | $c$                               | 19  | 15   | 13   | 11   | 9    | –    | –    |
|   |                     | $\varphi$                         | 28  | 26   | 24   | 21   | 18   | –    | –    |
| Суглинки  | $0 < I_L < 0,25$    | $c$                               | 47  | 37   | 31   | 25   | 22   | 19   | –    |
|   |                     | $\varphi$                         | 26  | 25   | 24   | 23   | 22   | 20   | –    |
|   | $0,25 < I_L < 0,5$  | $c$                               | 39  | 34   | 28   | 23   | 18   | 15   | –    |
|   |                     | $\varphi$                         | 24  | 23   | 22   | 21   | 19   | 17   | –    |
|   | $0,5 < I_L < 0,75$  | $c$                               | –   | –    | 25   | 20   | 16   | 14   | 12   |
|   |                     | $\varphi$                         | –   | –    | 19   | 18   | 16   | 14   | 12   |
| Глины   | $0 < I_L < 0,25$    | $c$                               | –   | 81   | 68   | 54   | 47   | 41   | 36   |
|   |                     | $\varphi$                         | –   | 21   | 20   | 19   | 18   | 16   | 14   |
|   | $0,25 < I_L < 0,5$  | $c$                               | –   | –    | 57   | 50   | 43   | 37   | 32   |
|   |                     | $\varphi$                         | –   | –    | 18   | 17   | 16   | 14   | 11   |
|   | $0,5 < I_L < 0,75$  | $c$                               | –   | –    | 45   | 41   | 36   | 33   | 29   |
|   |                     | $\varphi$                         | –   | –    | 15   | 14   | 12   | 10   | 7    |

Работа грунта в земляном полотне автомобильных дорог происходит в условиях переменных температур и увлажнения. Сопротивление грунта нагрузкам неодинаково в различные периоды времени и меняется в зависимости от степени увлажнения грунта, поэтому расчеты устойчивости откосов выполняют применительно к наиболее неблагоприятному периоду времени, когда прочностные характеристики грунта имеют наименьшее значение [10, 11].

Годовой цикл водно-теплового режима включает следующие характерные периоды [13]:

- предзимний – первоначальное накопление влаги осенью;
- морозный – промерзание, перераспределение и накопление влаги в земляном полотне зимой;
- весенний – оттаивание земляного полотна и переувлажнение грунта весной;
- летний – просыхание земляного полотна летом.

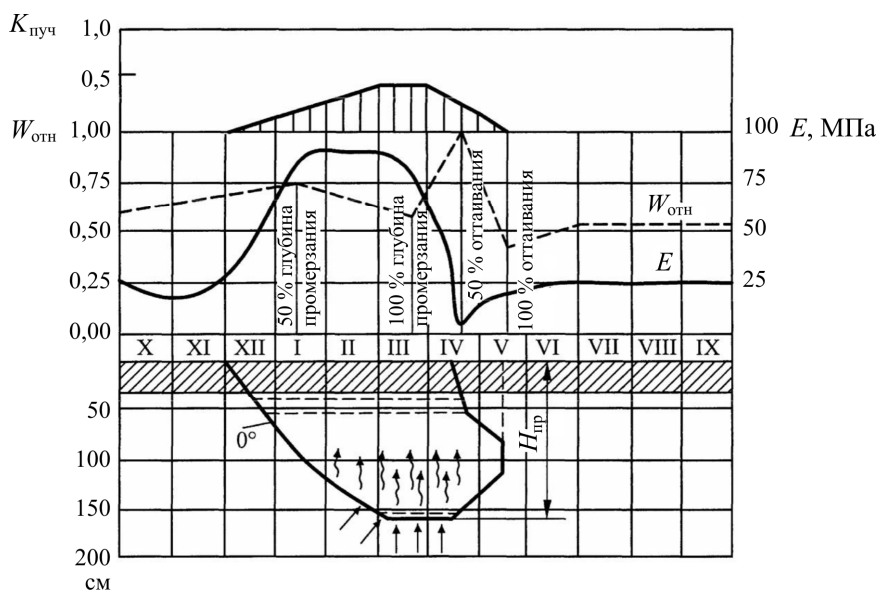


Рис. 3. Схема круглогодичного цикла изменения относительной влажности  $W_{отн}$  и модуля упругости  $E$  земляного полотна, а также график изменения коэффициента пучения на дороге во II дорожно-климатической зоне

Предзимний период характеризуется следующим:

- охлаждение и интенсивное увлажнение полотна и одежды атмосферными осадками;

- поднятие уровня грунтовых вод;

- медленное нарастание влажности, разуплотнение грунта;

- снижение прочности дорожной одежды;

- относительная влажность грунта составляет  $W = 0,7 W_T$

( $W_T$  – влажность на пределе текучести грунта).

Морозный период можно разделить:

1) на период морозного влагонакопления:

- снижение температуры грунта;

- промерзание грунта;

- дальнейшее увеличение влажности и снижение плотности грунта;

- влажность грунта увеличивается до  $W = 0,7-0,8 W_T$ ;

2) период равновесного состояния:

- влажность грунта стабильно высокая;

- прочность грунта и дорожной одежды очень высокая;

- наибольшая глубина промерзания грунта;

- наибольшая вероятность образования пучин.

Характеристики весеннего периода:

- максимальная влажность грунта  $W = 0,85-1,0 W_T$ ;
- минимальная плотность и прочность грунта;
- наиболее опасный период, принимается за расчетный для дорожных одежд и земляного полотна.

Характеристики летнего периода:

- снижение влажности грунта до наименьшего сезонного значения  $W = 0,5 W_T$ ;
- постепенное возрастание плотности и прочности грунта земляного полотна;
- морозное пучение и промерзание отсутствуют.

Приведенная схема изменения влажности грунта земляного полотна справедлива для условий II–III дорожно-климатических зон. Наиболее опасным для работы земляного полотна является весенний период, в который наблюдается наибольшее увлажнение (влажность грунта является максимальной и составляет  $W = 0,85-1,0 W_T$ ).

В зависимости от естественной влажности грунта расчетные характеристики могут варьироваться в широких пределах. В качестве примера в табл. 3 приведены данные для суглинка тяжелого пылеватого (по данным лаборатории кафедры «Автомобильные дороги и мосты»).

Таблица 3

Физические и прочностные характеристики грунта

| № п/п | Естественная влажность грунта $W$ , % | Влажность на границе текучести $W_L$ , % | Влажность на границе раскатывания $W_p$ , % | Число пластичности $I_p$ , % | Показатель текучести $I_L$ | Сцепление, МПа (по табл. 1) | Угол внутреннего трения (по табл. 1) |
|-------|---------------------------------------|--|---|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1     | 28,6<br>(0,89 $W_T$ )                 | 32,1                                     | 19,8  | 12,3                         | 0,7 (мягкопластичный)      | 0,015                       | 17                                   |
| 2     | 30,5<br>(0,95 $W_T$ )                 | 32,1                                     | 19,8  | 12,3                         | 0,87 (текучепластичный)    | 0,01                        | 13                                   |

*Примечание.* Физические характеристики грунтов определены в соответствии с требованиями ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация» и ГОСТ 5180–2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».

Таким образом, для назначения расчетных характеристик грунтов земляного полотна при расчетах устойчивости его откосов необходимо:

- установить расчетный период наибольшего увлажнения грунтов;



- определить значения максимальной влажности грунта за расчетный период, включающий не менее 10–15 лет;
- установить расчетную влажность грунта с расчетной вероятностью превышения 5 %;
- определить в лаборатории физические характеристики грунта;
- для расчетной влажности грунта назначить расчетные прочностные характеристики – сцепление и угол внутреннего трения.

### Список литературы

1. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок. – М.: СоюздорНИИ, 1966. – 63 с.
2. Методические рекомендации по сооружению земляного полотна автомобильных дорог из грунтов повышенной влажности. – М.: СоюздорНИИ, 1980. – 35 с.
3. Методические рекомендации по разработке выемок в глинистых грунтах влажностью выше оптимальной и использованию этих грунтов для возведения насыпей автомобильных дорог во II и III дорожно-климатической зонах. – М.: СоюздорНИИ, 1987. – 60 с.
4. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. / Л.Н. Шутенко, А.Г. Рудь, О.В. Кичаева [и др.]; под. ред. Л.Н. Шутенко; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Харьков, 2015. – 501 с.
5. Обеспечение устойчивости дорожной насыпи: метод. указания к курсовой работе по механике грунтов / Н.И. Барац, А.С. Ловинецкий, В.Н. Шестаков. – Омск: Изд-во Сибир. автомоб.-дорож. ин-та, 2010. – 31 с.
6. Федотов Г.А. Проектирование автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
7. Цветков В.К., Богомоллов А.Н., Новоженин А.А. Расчет устойчивости однородных нагруженных откосов // Повышение эффективности и надежности транспортных объектов: межвуз. темат. сб. – Ростов н/Д, 1985. – Вып. 183. – С. 84–88.
8. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. – Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1979. – 238 с.
9. Бабков В.Ф. Устройство земляного полотна автомобильных дорог: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1966. – 108 с.
10. Методические рекомендации по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог. – М.: СоюздорНИИ, 1983. – 78 с.

11. Леонович И.И., Вырко Н.П. Водно-тепловой режим земляного полотна. – Минск: Изд-во Брест. нац. техн. ун-та, 2013. – 332 с.

12. Щепетева Л.С. Устойчивость откосов земляного полотна автомобильных дорог: метод. указания к курсовому и дипломному проектированию. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – 16 с.

13. Василенко Е.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожной одежды лесовозных автомобильных дорог [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум: материалы III Общерос. студенч. электрон. науч. конф., Воронеж, 15–20 февраля 2011 г. / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – URL: <https://www.rae.ru/forum2011/pdf/1849.pdf> (дата обращения: 15.02.2017).

### References

1. Predlozheniia po raschetu ustoichivosti otkosov vysokikh nasypei i glubokikh vyemok [Suggestions for calculation of stability of slopes of high embankments and deep excavations]. Moscow: SOIuZDORNII, 1966, 63 p.

2. Metodicheskie rekomendatsii po sooruzheniiu zemlianogo polotna avtomobil'nykh dorog iz gruntov povyshennoi vlazhnosti [Guidelines for the construction of subgrade of roads from the soil moisture]. Moscow: SOIuZDORNII, 1980, 35 p.

3. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke vyemok v glinistykh gruntakh vlazhnost'iu vyshe optimal'noi i ispol'zovaniiu etikh gruntov dlia vozvedeniia nasypei avtomobil'nykh dorog vo II i III dorozhno-klimaticheskoi zonakh [Guidelines for the development of pits in clay soils with moisture content above optimum and the use of these soils for construction of embankments of roads in the II and III road-climatic zones]. Moscow: Soiuzdornii, 1987, 60 p.

4. Shutenko L. N., Rud' A. G., Kichaeva O. V. et al. Mekhanika gruntov, osnovaniia i fundamenty [Soil mechanics, bases and foundations]. Ed. L. N. Shutenko. Khar'kov: Khar'kovskii natsional'nyi universitet gorodskogo khoziaistva imeni A. N. Beketova, 2015, 501 p.

5. Barats N.I., Lovinetskii A.S., Shestakov V.N. Obespechenie ustoichivosti dorozhnoi nasypi [Sustainability road embankment]. Omsk: Sibirskii gosudarstvennyi avtomobil'no-dorozhnyi universitet, 2010, 31 p.

6. Fedotov G.A. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog. Spravochnik inzhenera-dorozhnika [Design of roads. Reference engineer-road maintenance]. Moscow: Transport, 1989, 437 p.

7. Tsvetkov V. K. et al. Raschet ustoichivosti odnorodnykh nagruzhennykh otkosov [Calculation of stability of the homogeneous loaded slope]. Povyshenie effektivnosti i nadezhnosti transportnykh ob'ektov. Rostov-na-Donu, 1985, iss. 183, pp. 84-88.

8. Tsvetkov V.K. Raschet ustoichivosti otkosov i sklonov [Calculation of stability of slopes and slopes]. Ed. V. K. Tsvetkov. Volgograd: Nizhnevolskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1979, 238 p.

9. Babkov V.F. Ustroistvo zemliannogo polotna avtomobil'nykh dorog [Road bed construction of roads]: Ed. V.F. Babkov. Moscow: Vysshiaia shkola, 1966, 108 p.

10. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu vodno-teplovogo rezhima dlia razrabotki optimal'noi konstruktsii zemliannogo polotna avtomobil'nykh dorog [Methodical recommendations on calculation of water-thermal mode for optimum design subgrade of roads]. Moscow: SoiuzdorNII, 1983, 78 p.

11. Leonovich I.I., Vyrko N.P. Vodno-teplovoi rezhim zemliannogo polotna [Water-heating mode subgrade. Educational electronic edition]. Minsk: Belorusskii natsional'nyi tekhnicheskii universitet, 2013, 332 p.

12. Shchepeteva L.S. Ustoichivost' otkosov zemliannogo polotna avtomobil'nykh dorog [Stability of the slopes of the subgrade of roads]. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2016, 16 p.

13. Vasilenko E.A. Vodno-teplovoi rezhim zemliannogo polotna i dorozhnoi odezhdyy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Water-heat mode of the subgrade and pavement of forest roads]. Materialy III Obshcherossiiskoi studencheskoi elektronnoi nauchnoi konferentsii «Studencheskii nauchnyi forum», 15–20 February 2011, Voronezh, Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya, available at: <https://www.rae.ru/forum2011/pdf/1849.pdf> (assessed 15 February 2017).

Получено 13.02.2017

### Об авторах

**Черепанова Анна Витальевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [ane4ka24@inbox.ru](mailto:ane4ka24@inbox.ru)).

**Щепетева Людмила Станиславовна** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, исполняющая обязанности заведующего

кафедрой «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shls54@mail.ru).

**Кузнецов Вадим Юрьевич** (Пермь, Россия) – доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

### **About the authors**

**Anna V. Cherepanova** (Perm, Russian Federation) – Master Student, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: ane4ka24@inbox.ru).

**Liudmila S. Shchepeteva** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: shls54@mail.ru).

**Vadim Iu. Kuznetsov** (Perm, Russian Federation) – Associate Professor, Motor Roads and Bridges Department, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation).