

М.О. Беклемышев, Г.Э. Барышников, Е.С. Краснов, В.А. Абдуллин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКОСА НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Изменение погодно-климатических условий негативно отражается на условиях эксплуатации транспортных сооружений, нарушая в некоторых случаях бесперебойное движение транспортных средств. В результате обильных ливневых осадков летом 2017 г. на территории Пермского края произошел ряд аварийных ситуаций, связанных с размывом насыпи, разрушением искусственных сооружений – мостов и водопропускных труб. В этот период произошло локальное обрушение откоса земляного полотна на 51-м километре автомобильной дороги «Западный обход г. Перми», что привело к закрытию одной из полос дорожного движения. Были исследованы причины, которые привели к обрушению откоса, произведен сбор исходных данных на месте обрушения. После этого были проанализированы физико-механические свойства грунта с места аварии, геометрические параметры земляного полотна, оценена система поверхностного водоотвода на участке дороги. Рассмотрены существующие методы расчета устойчивости откоса с выбором наиболее подходящего для данного обрушения. Решена прямая задача устойчивости с проверкой исходных геометрических параметров насыпи и обратная задача устойчивости откоса на основе метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Особое внимание было уделено определению наиболее опасного положения кривой скольжения и критического значения угла наклона откоса – величины заложения откоса, для которого коэффициент запаса устойчивости имеет значение меньше требуемого. На основе полученных данных и анализа причин обрушения рассмотрены способы организованного сброса воды через откосную часть насыпи для предотвращения в процессе дальнейшей эксплуатации дороги аналогичных аварийных ситуаций.

Ключевые слова: метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, расчет устойчивости откоса, автомобильные дороги, коэффициент запаса, земляное полотно.

M.O. Beklemyshev, G.E. Baryshnikov, E.S. Krasnov, V.A. Abdullin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON STABILITY OF THE SLOPES OF THE SUBGRADE OF ROADS

Changes in weather and climatic conditions negatively affect the conditions of operation of transport facilities, disrupting in some cases the smooth movement of vehicles. As a result of heavy rainfall in the summer of 2017 on the territory of the Perm region, there were a number of emergency situations associated with the erosion of the embankment, the destruction of artificial structures – bridges and culverts. During this period of time there was a local collapse of a slope of a subgrade on the 51st kilometer of the road "the Western bypass of G. Perm", which led to the closure of one of the lanes. The causes that led to the collapse of the slope were investigated, initial data were collected at the crash site. Then physical and mechanical properties of soil from the place of accident, geometrical parameters of a subgrade were analyzed, the system of a surface drainage system on a site of the road is estimated. The existing methods of calculation of slope stability with the choice of the most suitable for this collapse are considered. The direct problem of stability with checking the initial geometric parameters of the mound and the inverse problem of slope stability based on the method of kropiewnicki sliding surfaces are solved. Particular attention was paid to the determination of the most dangerous position of the sliding curve and the critical value of the slope angle – the slope value, for which the stability factor is less than the required. On the basis of the obtained data and analysis of the causes of the collapse, the methods of organized water discharge through the slope of the embankment to prevent similar accidents in the process of further operation of the road are considered.

Keywords: method kropiewnicki sliding surfaces, calculation of slope stability, roads, reserve coefficient, subgrade.

В июле 2017 г. на территории Пермского края произошли несколько аварийных ситуаций, связанных со значительным количеством осадков, выпавших за короткий период времени: так, при норме в июле 70 мм выпало 198 мм осадков, что превысило месячную норму на 283 % [1].

Аварийная ситуация на 51-м километре автомобильной дороги «Западный обход г. Перми», связанная с обрушением откоса насыпи, также произошла в этот промежуток времени. Вероятной причиной аварии является предварительный его размыв с последующим нарушением устойчивости насыпи и дальнейшим обрушением. На это указывают следующие обстоятельства: обрушение произошло на локальном участке насыпи, в месте обрушения на проезжей части имеется система отвода поверхностных вод через дождеприемный колодец, отмечаются признаки водной эрозии откоса на примыкающих к месту аварии участках насыпи. Кроме того, визуальная оценка продольного профиля указывает, что место размыва является аккумулярующей точкой водосборного бассейна поверхностных вод (рис. 1).



Рис. 1. Участок обрушения откоса насыпи на 51-м километре автомобильной дороги «Западный обход г. Перми» (22 июля 2017 г.)

Обеспечение устойчивости откосов насыпей и выемок на автомобильных дорогах оценивается в процессе проектирования поперечных профилей исходя из различных условий ожидаемого смещения массива без учета возможного изменения крутизны откоса в процессе эксплуатации. Для определения причин возникновения аварии и разработки рекомендаций с целью предотвращения подобных ситуаций, в том числе на других участках дорог, выполнены работы по сбору исходных данных на месте аварии. Проведена геодезическая съемка поперечного профиля с определением высоты насыпи, коэффициентов заложения откоса с типами укрепления, произведен отбор грунта земляного полотна по ГОСТ 12071–2014.

Земляное полотно в месте аварии представляет насыпь высотой (по бровке) 12,97 м. Откос насыпи на высоту 6,04 м укреплен железобетонными плитами размером 6000×2000×140 мм с коэффициентом заложения 1:2, верхняя часть откоса укреплена засевом трав с коэффициентом заложения 1:1,5.

У отобранного грунта из тела насыпи определено процентное содержание первичных частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению к их общей массе по ГОСТ 12536–2014 (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав грунта

Показатель	Фракция грунта (размер сит), мм							
	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	<0,1
Частный остаток на сите, %	14,9	11,4	7,6	3,8	5,6	16,8	33,1	6,8
Полный остаток на сите, %	14,9	26,3	33,9	37,7	43,3	60,1	93,2	100,0
Прошло через сито, %	85,1	73,7	66,1	62,3	56,7	39,9	6,8	0,0

Определенный гранулометрический состав грунта отобранного из тела насыпи соответствует песку гравелистому по ГОСТ 25100–2011.

Объемный вес скелета грунта $\gamma_{ск} = 1,96 \text{ т/м}^3$.

Помимо сбора исходных данных на месте аварии важно установить причины потери устойчивости откоса. Наиболее вероятными причинами могут быть следующие неблагоприятные условия [2]:

- устранение естественной опоры массива грунта из-за разработки траншей, котлованов, подмыва откоса и т.д.;
- внешняя перегрузка откоса;
- увеличение удельного веса грунта в месте обрушения из-за заполнения водой пор (в случае грунта, не полностью насыщенного водой);
- увеличение гидродинамического давления воды, выходящей через поверхность откоса;
- уменьшение трения и сцепления грунта из-за его увлажнения, которое часто обозначено поднятием уровня подземных вод, и при разрыхлении из-за промерзания и оттаивания, динамические воздействия при движении транспорта, проявлении сейсмических сил, забивке свай.

Кроме того, в качестве условий решения задачи необходимо учитывать, что устойчивость откосов зависит [3]:

- от прочности грунтов под откосом и в его основании, причем характеристики прочности могут изменяться со временем;
- удельного веса грунтов под откосом и в его основании;
- крутизны этого откоса;
- высоты этого откоса;
- нагрузок на поверхности этого откоса;
- фильтрации воды через откос;
- положения уровня воды, насыщающей грунт в теле откоса.

В настоящее время не разработан единый нормативный документ, предлагающий рекомендации, которые в полной мере отражают основные этапы оценки устойчивости откосов [4]. Исключением может являться ОДМ 218.2.006–2010, носящий рекомендательный характер, в котором достаточно подробно приведены указания по выбору исходных данных, методике и оценке результатов расчетов устойчивости и оползневых давлений.

В практике проектирования и строительства автомобильных и железных дорог часто возникает вопрос об оценке устойчивости откосов насыпей и выемок, высота и глубина которых превышает 12 м, поскольку в этих условиях возникает опасность разрушения конструкции земляного полотна при его расположении на недостаточно устойчивом природном склоне. Обычно эта задача сводится к определению в заданных условиях допустимой крутизны откоса, так как хорошо известно, что при избыточной крутизне откосов земляных массивов возникает опасность их обрушения. Обрушение откоса представляет собой одну из простейших форм проявления оползневого процесса [5].

Для оценки устойчивости откосов существуют следующие методы: метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, метод касательных сил, метод горизонтальных сил, метод расчета равноустойчивого откоса.

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 фильтрационных) [6].

Обследования многих оползней показали, что в однородных грунтах, обладающих трением и сцеплением, оползни вращения развиваются в результате смещения массивов грунта по поверхности, близкой к круглоцилиндрической [7].

При выраженной неоднородности (наличие скальных, полускальных пород) и при существенном различии прочностных свойств грунтов метод круглоцилиндрических поверхностей применять не рекомендуется [8].

Этот метод часто используют в тех случаях, когда на всем протяжении точно определена поверхность. Примером может служить ситуация, в которой из-за того, что делювий сползает по коренным породам, кровлю считают за поверхностью скольжения. В таком случае фактически сдвигающие силы, направленные по касательной к поверхности скольжения, становится учитывать зна-

чительно проще. Поверхность скольжения образуется из ряда плоских участков в виде ломаной линии [9]. Метод горизонтальных сил используют тогда, когда откос состоит из неоднородных грунтов и поверхность скольжения оползней известна [10]. Предполагается, что эта поверхность скольжения уже рассчитана на части ее простираения одним из способов – теоретическим или опытным, а в неизвестных частях поверхность скольжения устанавливается с помощью метода подбора. Криволинейная поверхность скольжения в условиях плоской задачи заменяется в плоскости чертежа тем или иным множеством прямых линий, являющихся линиями скольжения. Следовательно, весь массив грунта можно разделить на отдельные блоки. В практике поступают наоборот: делят массив грунта на отдельные блоки так, чтобы каждый блок состоял из однородного грунта. [11]. Расчеты методом равноустойчивого очертания необходимо проводить для расчетных поперечников. В качестве расчетных принимаются поперечники с наиболее неблагоприятным сочетанием различных факторов, таких как высота и крутизна откоса, величина сдвиговых характеристик грунтов, мощность и расположение слабых прослоек, наклон слоев, наличие выклинивающихся грунтовых вод или подтопленных и т.п. [12].

В проектной практике часто используют метод круглоцилиндрической поверхности скольжения, что характерно для рассматриваемого случая, когда насыпь сложена из однородного грунта – песка гравелистого, а общая картина обрушения откоса характерна для формы нарушения устойчивости склонов «обрушение со срезом и вращением» (см. рис. 1).

Строгое определение формы наиболее критической поверхности скольжения представляет некоторую трудность [13], поэтому ограничиваются упрощенной формой, так называемой дугой окружности.

Для конкретного случая решения задачи устойчивости откоса наиболее подходящим является расчет оползней второго типа с фиксированной поверхностью скольжения [14]. Расчет не приходится устанавливать положение поверхности скольжения, и она определяется или геологическим строением толщи, или ее поверхностью. Для определения фактического положения поверхности скольжения установлены дополнительные параметры (рис. 2): b – ширина оползающего массива насыпи, которая составила 2,45 м; h_H – высота поверхности скольжения – 6,93 м. С учетом того, что для простейших случаев форма этой поверхности (линии) скольжения приближается к круговой (дуга круга) для каждого частного случая величиной радиуса R и с положением центра круга O [14], расчетом определен радиус круга поверхности скольжения АС

$$R = 13,3 \text{ м с суммарной длиной дуг круга расчетных блоков } L = \sum_{i=1}^5 l_i = 15,44 \text{ м.}$$

Устойчивость откосов земляного полотна оценивают сопоставлением расчетного коэффициента устойчивости K_p с его нормативным значением K_H , учитывающим степень изученности грунтовых условий, значение сооружений и надежность методов расчета [15]. Устойчивость считается обеспеченной при следующем условии: $K_p \geq K_H$.

Учитывая необходимость расчленения оползневого склона при расчете по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения на ряд расчетных блоков, расчетный коэффициент K_p определяют из отношения сумм моментов, удерживающих расчетные блоки 1–5 ($\sum M_y$), к сумме моментов сдвигающих ($\sum M_c$):

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^5 M_y}{\sum_{i=1}^5 M_c}.$$

Нормативное значение коэффициента устойчивости откоса K_H определено расчетом [15], с учетом надежности данных о характеристиках грунтов, категории дороги, соответствия принятой

расчетной схемы инженерно-геологическим условиям вида грунта и его работы в сооружении, метода расчета, степени ущерба для народного хозяйства в случае аварии сооружения, и составляет $K_H = 1,23$.

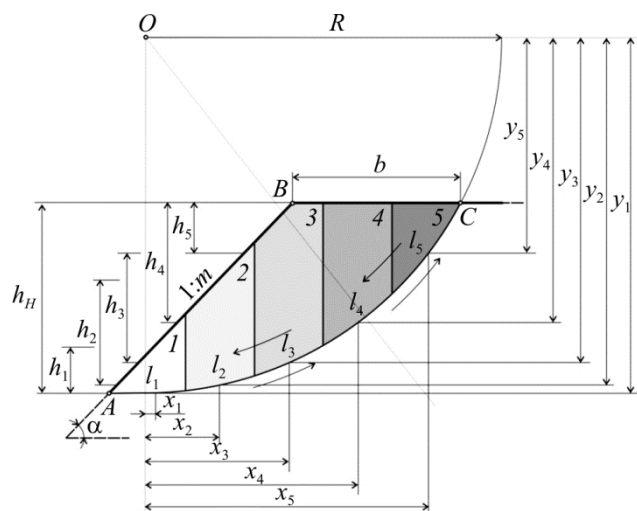


Рис. 2. Расчетная схема по оценке устойчивости откоса по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения (расчет второго типа с фиксированной поверхностью скольжения): $x_1...x_5, y_1...y_5$ – расстояния от осей до середины дуги расчетных блоков 1–5; $h_1...h_5$ – высота в середине расчетных блоков 1–5; h_H – высота поверхности скольжения; $l_1...l_5$ – длина дуг скольжения расчетных блоков 1–5; b – ширина оползающего массива насыпи; R – радиус круга поверхности скольжения AC; α – угол откоса при соответствующем коэффициенте заложения

Для проверки устойчивости откоса при изначальных характеристиках геометрических параметров земляного полотна решена общая прямая задача устойчивости (табл. 2); для случая определения условий того, при каких геометрических параметрах откосной части насыпи происходит нарушение устойчивости, решена обратная задача (табл. 3).

При расчете задач учитывались следующие допущения: отсутствует внешняя нагрузка на откос, отсутствует увеличение удельного веса грунта в призме обрушения в результате заполнения водой его пор, отсутствует увеличение гидродинамического давления воды (выходящей через поверхность откоса), отсутствуют динамические воздействия при движении транспорта и снижение сцепления и трения грунта при его увлажнении.

В качестве исходных значений приняты нормативные значения удельного сцепления c_n и угла внутреннего трения φ_n для грунта земляного полотна – песка гравелистого по СП 22.13330.2011: $c_n = 1,0$ кПа, $\varphi_n = 40^\circ$ (при коэффициенте пористости $e = 0,55$).

Таблица 2

Расчет прямой задачи устойчивости откоса (при $\alpha = 34^\circ$)

Номер блока	Параметры						K_p
	x_i	y_i	w_i	$Q_i = w_i \cdot \gamma_{ск}$	M_{y_i}	M_{C_i}	
1	0,15	13,29	2,18	42,69	681,41	6,40	1,48
2	2,72	13,05	6,10	119,77	1517,14	325,78	
3	5,29	12,24	9,02	176,89	2021,97	935,77	
4	7,86	10,77	11,10	217,86	2174,29	1712,38	
5	10,43	8,31	8,21	160,82	1326,40	1677,38	
$\sum M_y$					6899,75		
$\sum M_C$						4657,72	

Расчет обратной задачи устойчивости откоса (при $\alpha = 45^\circ$)

Номер блока	Параметры						
	x_i	y_i	w_i	$Q_i = w_i \cdot \gamma_{ск}$	M_{y_i}	M_{C_i}	K_p
1	3,39	12,95	1,36	26,64	345,04	90,32	1,12
2	5,28	12,31	4,02	78,65	968,17	415,15	
3	7,17	11,31	6,33	124,26	1405,35	890,53	
4	9,03	9,88	8,44	165,75	1637,61	1496,72	
5	10,91	7,76	5,02	98,41	763,69	1073,70	
$\sum M_y$					5119,86		
$\sum M_c$						3966,41	

Решение прямой задачи, при существующем коэффициенте заложения 1:1,5, показало, что расчетный коэффициент запаса устойчивости откоса K_p в рассматриваемых условиях не превышает нормативный K_H , что подтверждает выполнение условия обеспечения устойчивости откоса.

Обратная задача решена путем проведения нескольких последовательных расчетов изменения коэффициента заложения откоса, от 1:1,5, что соответствует углу откоса $\alpha = 34^\circ$, до 1:1 ($\alpha = 45^\circ$), при котором значения расчетного коэффициента запаса устойчивости откоса K_p превышают нормативный K_H , а общая устойчивость откоса не обеспечивается.

Большое количество осадков за короткий период вызвало последующую перегрузку системы водоотвода. Признаки водной эрозии откоса на примыкающих к месту аварии участках насыпи указывают на то, что значительная часть ливневых вод сбрасывалась через откосную часть насыпи. Откос был укреплен засевом трав и не создавал большого сопротивления к размыву, что привело к углублению и уширению поверхности размыва до значений коэффициента заложения 1:1 ($\alpha = 45^\circ$), в результате чего произошло нарушение устойчивости с последующим локальным (в границах размыва) обрушением откосной части насыпи.

В связи с изменением погодно-климатических условий и для предотвращения повторных аварийных ситуаций необходимо предусмотреть укрепление откоса конструкциями для насыпей с целью обеспечения общей их устойчивости в течение всего срока службы автомобильной дороги. Для назначения конструкции укрепления следует руководствоваться рекомендациями ОДМ 218.2.078–2016 с учетом причин аварии и временного восприятия откосом водной нагрузки. В качестве конструкций укрепления следует рассматривать защитные виды, предназначенные для защиты (изоляции) поверхностных слоев откосов от водной эрозии. Назначение конструкции укрепления откоса в любом случае необходимо проводить на основе детального анализа геологических и гидрологических условий с технико-экономическим сопоставлением вариантов.

Список литературы

1. PogodaiKlimat: сайт. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28224&month=7&year=2017> (дата обращения: 08.04.2018).
2. Пьянков С.А., Азизов З.К. Механика грунтов: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 103 с.
3. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 328 с.
4. Алгоритм и программное обеспечение расчета устойчивости откосов земляных сооружений по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения / В.В. Ломакин, С.В. Сергеев, Е.В. Лычагин, О.С. Резниченко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – Т. 25, № 24 (167). – С. 169–177.
5. Добров Э.М. Механика грунтов. – М.: Академия, 2013. – 256 с.

6. Шутенко Л.Н., Рудь А.Г., Кичаева О.В. Механика грунтов, основания и фундаменты / под ред. Л.Н. Шутенко – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2015. – 501 с.
7. Черепанова А.В., Щепетева Л.С., Кузнецов В.Ю. Назначение расчетных характеристик грунтов при расчете устойчивости откосов земляного полотна автомобильной дороги // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 1. – С. 106–117.
8. Кремнев А.П., Глухов Д.О., Вишняков Н.Н. Определение наиболее опасной поверхности скольжения при расчете устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 37–41.
9. Далматов Б.И. Механика грунтов. Ч. 1. Основы геотехники в строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 204 с.
10. Гинзбург Л.К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – М.: ЦБНТИ, 1986. – 123 с.
11. Рысбаева А.К. К выбору метода расчета напряженного состояния селезащитных плотин // Вестник КазНТУ. – 2016. – № 6. – С. 22–25.
12. Казарновский В.Д., Львович Ю.М., Вельмакина Н.И. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок / СоюздорНИИ. – М., 1996. – 83 с.
13. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes // Geotechnique. – 1954. – Vol. 5. – P. 7–17.
14. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
15. Щепетева Л.С. Устойчивость откосов земляного полотна автомобильных дорог: метод. указания к курс. и дипл. проектированию. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2016. – 17 с.

References

1. Pogodaiklimat, available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28224&month=7&year=2017> (assessed 08 april 2018).
2. P'yankov S.A., Azizov Z.K. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. Ul'yanovsk, UIGTU, 2008, 103 p.
3. Malyshev M.V., Boldyrev G.G. Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenti [Soil mechanics. Bases and foundations]. Moscow, ASV, 2004, 328 p.
4. Algoritm i programmnoye obespecheniye rascheta ustoychivosti otkosov zemlyanykh sooruzheniy po kruglotsilindricheskim poverkhnostyam skol'zheniya [Algorithm and software for calculating the stability of slopes of earthworks on round-cylindrical sliding surfaces] / V.V. Lomakin, S.V. Sergeyev, Ye.V. Lychagin, O.S. Reznichenko. Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Natural Sciences, 2013, T. 25, no. 24 (167), pp. 169-177.
5. Dobrov E.M. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. Moscow, «Akademiya», 2013, 256 p.
6. Shutenko L.N., Rud' A.G., Kichayeva O.V. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti [Soil mechanics. Bases and foundations]. Ed. L.N. Shutenko. Khar'kov, KHNUGKH im. A. N. Beketova, 2015, 501 p.
7. Cherepanova A.V., Shchepeteva L.S., Kuznetsov V.YU. Naznachenkiye raschetnykh kharakteristik gruntov pri raschete ustoychivosti otkosov zemlyanogo polotna avtomobil'noy dorogi [Purpose of the calculation characteristics of soils in calculating the stability of slopes of the roadway of the road] // Transport. Transport facilities. Ecology, 2017, no 1, pp. 106-117.
8. Kremnev A.P., Glukhov D.O., Vishnyakov N.N. Opredeleniye naiboleye opasnoy poverkhnosti skol'zheniya pri raschete ustoychivosti otkosov metodom kruglotsilindricheskikh poverkhnostey skol'zheniya [Determination of the most dangerous slip surface in calculating slope stability by the method of circular cylindrical sliding surfaces] // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Series F: Construction. Applied Science, 2011, no. 8, pp. 37-41.
9. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov. Chast 1. Osnovy geotekhniki v stroitel'stve [Soil mechanics. Part 1. Fundamentals of geotechnics in construction]. Moscow, ASV, 2000, 204 p.
10. Ginzburg L.K. Rekomendatsii po vyboru metodov rascheta koeffitsiyenta ustoychivosti sklona i opolzneвого davleniya [Recommendations on the choice of methods for calculating the coefficient of slope stability and landslide pressure]. Moscow, TSBNTI, 1986, 123 p.
11. Rysbayeva A.K. K vyboru metoda rascheta napryazhennogo sostoyaniya selezashchitnykh plotin [To the choice of the method for calculating the stressed state of mud protection dams]. Vestnik KazNTU, 2016, no 6, pp. 22-25.
12. Kazarnovskiy V.D., L'vovich YU.M., Vel'makina N.I. Predlozheniya po raschete ustoychivosti otkosov vysokikh nasypyey i glubokikh vyemok [Proposals for calculating the stability of slopes of high embankments and deep excavations]. Moscow, Soyuzdornii, 1996, 83 p.

13. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 1954, vol. 5, pp. 7-17.

14. Maslov N. N. *Osnovy inzhenernoy geologii i mekhaniki gruntov* [Fundamentals of engineering geology and soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1982, 511 p.

15. Shchepeteva L.S. *Ustoychivost' otkosov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Stability of slopes of the roadbed of highways]. Perm, Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2016, 17 p.

Получено 08.02.2019

Об авторах

Беклемышев Михаил Олегович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: b1510969@yandex.ru).

Барышников Герман Эдуардович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: germanbarysh@yandex.ru).

Краснов Евгений Сергеевич (Пермь, Россия) – доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eskrasnov@rambler.ru).

Абдуллин Владислав Асхатович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vaabdullin@mail.ru).

About the authors

Mikhail O. Beklemyshev (Perm, Russian Federation) – Student, Department, Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: b1510969@yandex.ru).

German E. Baryshnikov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: germanbarysh@yandex.ru).

Evgenii S. Krasnov (Perm, Russian Federation) – Associate Professor, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: eskrasnov@rambler.ru).

Vladislav A. Abdullin (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vaabdullin@mail.ru).