

УДК 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАВОДКОВЫХ ВОД НА РАЗРУШЕНИЕ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Ю.А. Макарова, асп.

А.Ю. Мануковский, д-р техн. наук, проф.

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

Лесовозные автомобильные дороги можно назвать одним из наиболее важных элементов лесопромышленного комплекса, так как основная часть заготавливаемой древесины перевозится автомобильным транспортом. В современных условиях для обеспечения эффективной работы лесозаготовительных предприятий необходимо выполнять требуемый объем строительства лесовозных автомобильных дорог, что осложняется рядом причин. Ключевой проблемой является разрушение дорожного полотна и откосов при воздействии на них неблагоприятных природно-климатических факторов. В перспективных регионах, богатых лесными ресурсами, эта проблема выражается в основном в частом возникновении паводков и селей, что негативно сказывается на прочностных характеристиках автомобильных дорог. Поэтому проектирование и строительство новых путей перевозок лесоматериалов в условиях переувлажненной среды требует повышенной надежности проектных решений и применения новых альтернативных способов защиты земляного полотна. Известные способы и средства его укрепления в виде различных защитных покрытий при высоте насыпи менее 1,5 м в условиях паводков не эффективны. Поток воды наносит ущерб откосам земляного полотна уже при скорости 0,8 м/с, что было доказано средствами математического моделирования в среде FlowVision. Перед нами стояла цель – разработать методику расчета реакции откоса земляного полотна на поток жидкости. В условиях подтопления одной из основных причин, по которой возникают деформации поверхности защитных конструкций откосов, является гидродинамическая сила сопротивления движению, возрастающая со скоростью водного потока. Определение данного параметра для автомобильных дорог в регионах с частыми паводками позволяет учесть и максимально уменьшить разрушение автомобильных дорог и подобрать более эффективную конструкцию защиты откосов земляного полотна.

Ключевые слова: переувлажнение, разрушение автомобильных дорог, паводок, откос земляного полотна, водный поток, гидродинамическое сопротивление, уравнение.

Введение

Одним из наиболее важных элементов лесопромышленного комплекса являются лесовозные автомобильные дороги, которые можно назвать связующим звеном между осваиваемым лесным массивом и лесоперерабатывающим предприятием.

Основная часть заготавливаемой древесины перевозится автомобильным транспортом, что с учетом его высокой проходимости позволяет доставлять лесоматериалы из труднодоступных мест. В современных условиях для

Для цитирования: Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю. Исследование воздействия паводковых вод на разрушение откосов земляного полотна // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 70–76. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

обеспечения эффективной работы лесозаготовительных компаний необходимо выполнять требуемые объемы строительства лесовозных автомобильных дорог. Поэтому развитие транспортной инфраструктуры при освоении новых лесозаготовительных регионов приобретает решающее значение. Строительство автомобильных дорог высокого качества для данной отрасли осложняется рядом причин, главной из которых является разрушение дорожного полотна и откосов при воздействии на них неблагоприятных природно-климатических факторов. В большинстве регионов, богатых лесными ресурсами, вывозка лесоматериалов осложняется в основном частым возникновением паводков и селей. Вода, негативно воздействуя на дорожное полотно и откосы, приводит к преждевременному старению и разрушению дороги.

Строительство лесовозных автомобильных дорог в условиях переувлажненной среды требует повышения надежности проектных решений и прочностных характеристик земляного полотна. Применение новых усовершенствованных способов защиты земляного полотна от воздействия на него неблагоприятных природно-климатических факторов позволяет увеличить срок службы автомобильной дороги и снизить материальные затраты на ее ремонт [2, 8].

Для повышения устойчивости земляного полотна при разработке альтернативных способов защиты автомобильных дорог необходимо изучить воздействие паводковых вод на откосы насыпи земляного полотна. Перед нами стояла цель – разработать методику для расчета реакции откоса насыпи земляного полотна на поток жидкости.

Объекты и методы исследования

Природно-климатические факторы по сравнению с антропогенными оказывают более сильное влияние на прочность автомобильных дорог. Наводнения, паводки, повышение уровня грунтовых вод, возникающие в результате сильных осадков, приводят к разрушению не только транспортной инфраструктуры, но и в целом других отраслей.

Наводнения на р. Амур в Хабаровском крае являются ярким примером негативного воздействия природно-климатических факторов на все сферы человеческой деятельности. Из-за особенностей климата данного региона формирование паводков и наводнений сказывается на всем течении Амура. Например, осенью 2012 г. количество осадков в бассейне реки увеличилось в 1,5–2,0 раза, что привело к переувлажнению ее водосборной площади (рис. 1).

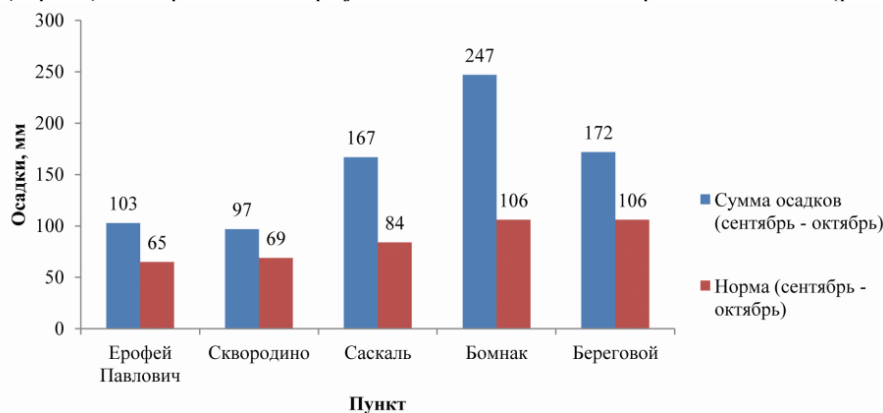


Рис. 1. Количество осадков в районе р. Верхний Амур (осень 2012 г.)

Весной 2013 г. данный фактор, а также осадки, превышающие норму в 1,5 раза, привели к значительным разрушениям [4]: повреждено около 1500 км дорог, прямой экономический ущерб составил около 88 млрд р.

В условиях переувлажненной среды откосы земляного полотна автомобильной дороги подвергаются негативному воздействию водного потока, что приводит к преждевременному разрушению защитных конструкций и снижению устойчивости насыпи. Известные способы и средства укрепления земляного полотна в виде различных защитных покрытий при высоте насыпи менее 1,5 м в условиях паводков не эффективны. Начиная со скорости 0,8 м/с, поток жидкости уже повреждает земляное полотно, что было доказано посредством математического моделирования в среде FlowVision [3]. Сильнее страдают автомобильные дороги при воздействии на них паводков, имеющих скорость потока более 1,5 м/с. Это приводит к необратимым деформациям конструкций защиты откосов [1].

Для повышения прочностных характеристик земляного полотна автомобильной дороги в условиях переувлажненной среды (при подтоплении) был разработан способ защиты откосов земляного полотна (рис. 2).

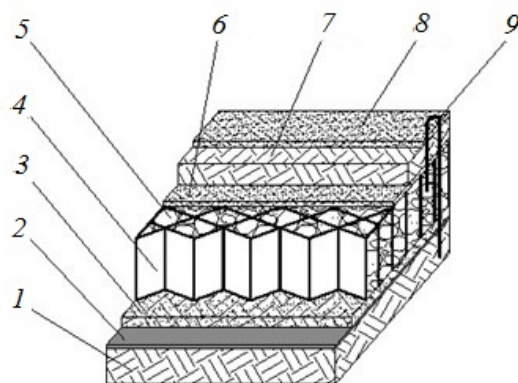


Рис. 2. Фрагмент конструкции укрепления земляного полотна: 1 – поверхность откоса; 2 – геотекстильный материал; 3 – слой гидрофобной полимерно-грунтовой смеси; 4 – геосотовый геосинтетический материал; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – полимерная пропитка; 7 – слой грунта; 8 – жидкий полимер; 9 – анкеры

Особенностью данной конструкции защиты откосов земляного полотна является наличие двух водонепроницаемых слоев, способных при определенной скорости потока, воздействующего на поверхность откоса, выдерживать давление воды и оказывать сопротивление вымыванию грунта [7, 9, 10].

В процессе эксплуатации автомобильной дороги в сложных природно-климатических условиях на откосы земляного полотна оказывает воздействие множество факторов. В условиях подтоплений одной из основных причин, в результате которой возникают деформации поверхности защитных конструкций откосов земляного полотна, служит возрастающая со скоростью водного потока гидродинамическая сила сопротивления движению.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим стадию воздействия текущей жидкости на поверхность откосов земляного полотна автомобильной дороги при $h \leq 2,5H_{п}$ (где h – высота насыпи; $H_{п}$ – толщина потока).

Примем допущение, что скорость потока воды постоянна при изменении площади контакта поверхности откоса с потоком. В качестве базового

используем уравнение для определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости [5, 6]:

$$R = k \int \frac{\rho V_{\Pi}^2}{2} S_{\text{общ}} dS, \quad (1)$$

где k – коэффициент вязкости водного потока;

ρ – плотность потока, кг/м³;

V_{Π} – скорость движения потока, м/с;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь контакта поверхности откоса и водного потока, м².

С учетом неоднородности водного потока при паводках и селях примем коэффициент вязкости по таблице.

Изменение коэффициента вязкости

Поток жидкости	Коэффициент вязкости
Чистая вода	1,5...2,0
Грязеводная смесь	8,0...15,0
Поток с твердой каменной фракцией размером до 2 см	25,0...48,0

Исходя из условия, что площадь контакта поверхности откоса с потоком текучей жидкости изменяется с течением времени (рис. 3), запишем формулу для определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости:

$$R = k \int \frac{\rho V_{\Pi}^2}{2} S_{\text{общ}} \cos \beta dS, \quad (2)$$

где β – угол поверхности откоса по отношению к водному потоку, численно равный углу между откосом и прилегающей поверхностью земли, ...°.

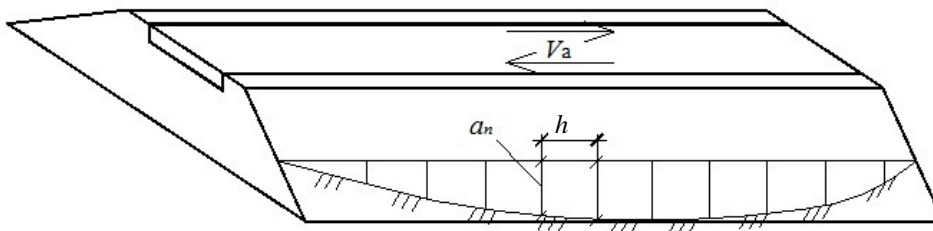


Рис. 3. Площадь контакта поверхности откоса и водного потока: V_a – направление движения автопоездов; h – расстояние измерения; a_n – глубина измерения

Общую площадь контакта поверхности откоса и водного потока можно представить как сумму площадей контакта поверхности откоса и водного потока:

$$S_{\text{общ}} = \sum S_{\text{тр}} + 2S_{\text{т}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{тр}}$ – основная площадь контакта, м²;

$S_{\text{т}}$ – площадь контакта в пограничной зоне, м².

Запишем выражение (3) в развернутом виде:

$$S_{\text{общ}} = \frac{1}{2} h [(a_1 + a_2) + (a_2 + a_3) + \dots + (a_n + a_{n+1}) + (a_1 + a_0)], \quad (4)$$

где h , a_n – расстояние и глубина измерения, м;
 n – количество измерений.

В общем виде давление на откос насыпи, создаваемое водным потоком на поверхность откоса земляного полотна, определяет зависимость вида

$$R = f(k, V_{\text{п}}, n, h, a, b, \beta). \quad (5)$$

Подставим (4) в (2):

$$R = k \frac{\rho V_{\text{п}}^2}{4} h [(a_1 + a_2) + (a_2 + a_3) + \dots + (a_n + a_{n+1}) + (a_1 + a_0)] \cos \beta. \quad (6)$$

Методика определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости позволяет найти общее тормозное усилие при движении жидкости при $h \leq 2,5H_{\text{п}}$ с учетом изменения площади контакта поверхности откоса и водного потока.

Заключение

Определение параметра тормозного усилия для автомобильных дорог в регионах с частым возникновением паводков и селей позволяет учесть и максимально снизить разрушение путей перевозок лесоматериалов, а также при проектировании подобрать более эффективную конструкцию защиты земляного полотна от вымывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Защита откосов автомобильных дорог от размыва: обзор. информ. М.: Росавтодор, 1992. 84 с.
2. *Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М.: Транспорт, 1976. 270 с.
3. *Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю.* Моделирование воздействия паводков и селей на земляное полотно лесовозной автомобильной дороги // *Материалы Всерос. студ. конф. «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», Йошкар-Ола, 23–28 ноября 2015 г.* Ч. 5. Инновации в строительстве, природообустройстве и техноферной безопасности. Йошкар-Ола: Поволж. гос. технол. ун-т, 2015. С. 115–117.
4. Наводнение-2013 / редкол.: А.С. Гаркин, И.Ю. Кореньюк, С.А. Казачинская, фил. ОАО «РусГидро». Талакан, 2014. 144 с.
5. *Першин М.Н., Кулижников А.М., Радов В.П.* Дорожное грунтоведение: СПб.: СПбГАСУ, 1998. 153 с.
6. *Савельев В.В.* Мелиорация лесосплавных путей и гидротехнические сооружения: М.: Лесн. пром-сть, 1982. 280 с.
7. *Сушков С.И., Сергеев А.С.* Алгоритм образования трещин на покрытии лесовозных дорог, устраиваемых на склоне, в основании которых залегает глинистый грунт // *Лесотехн. журн.* 2017. № 1(25). С. 118–126.
8. *Vednarouk S., Ovcharov E.* Flood Prevention and Protection in Russian // *United Nation. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7–8 October 1999. Berlin, 1999. No. 37. Pp. 1–4.*

9. Kief O., Schar Y., Pokharel S.K. High-Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure // Indian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 45, iss. 4. Pp. 389–400.

10. Meyer N. Determination of the Bearing Capacity of Geocell Reinforced Soil over Soft Subgrade with Static and Dynamic Plate Load Tests. Clausthal-Zellerfeld, Germany: Institute of Geotechnical Engineering and Mine Surveying, TU Clausthal, 2007.

Поступила 15.12.17

UDC 625.7/.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

The Effect of Floodwater on Slope Disturbance

Yu.A. Makarova, Postgraduate Student

A.Yu. Manukovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

Truck haul roads can be considered as one of the most important element of the timber industry complex, since the bulk of harvested wood is transported by road. To ensure the effective operation of logging enterprises under modern conditions, the specialists should entirely construct truck haul roads, which is complicated by a number of reasons. The key problem is slope disturbance under the influence of unfavorable natural environment and climatic factors. In perspective regions rich in forest resources, this problem is expressed mainly in frequent floods and mudflows, which negatively affects the strength characteristics of forestry roads. Therefore, the design and construction of new ways of timber transporting in a waterlogged environment requires increased reliability of project structures and new alternative roadbed safety methods. Known methods and means for roadbed reinforcing in the form of various protective coatings at the fill depth of less than 1.5 m in flood conditions are not effective. The water flow damages the slopes at a speed of 0.8 m/s, which is proved by the mathematical modeling in the FlowVision environment. The goal of research is to develop a methodology for calculating the reaction of a slope to the liquid flow. The hydrodynamic drag force is one of the main reasons for the deformation of the surface of the slope protective structures under the waterlogging conditions. It increases with a speed of the water flow. The definition of this parameter for motor roads in regions with frequent floods allows taking into account, minimizing the degree of road havoc and selecting a more effective design of slope protection.

Keywords: waterlogging, road havoc, flood, slope, water flow, hydrodynamic resistance, equation.

REFERENCES

1. *Avtomobil'nye dorogi. Zashchita otkosov avtomobil'nykh dorog ot razmyva* [Highways. Protection of Road Slopes from Erosion]. Moscow, Rosavtodor Publ., 1992. 84 p. (In Russ.)

2. Evgen'ev I.E., Kazarnovskiy V.D. *Zemlyanoe polотно avtomobil'nykh dorog na slabykh gruntakh* [Earth Roadbed on Soft Grounds]. Moscow, Transport Publ., 1976. 270 p. (In Russ.)

For citation: Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. The Effect of Floodwater on Slope Disturbance. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 70–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

3. Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. Modelirovanie vozdeystviya pavodkov i seley na zemlyanoe polotno lesovoznoy avtomobil'noy dorogi [Flood and Mudflow Modeling on the Roadbed of the Forest Road]. *Materialy Vserossiyskoy studencheskoy konf. «Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii»*, Yoshkar-Ola, 23–28 noyabrya 2015 g. Ch. 5. *Innovatsii v stroitel'stve, prirodoobustroytve i tekhnosfernoy bezopasnosti* [Proc. All-Russ. Student Conf. "Engineering Specialists – the Future of the Innovative Economy of Russia", Yoshkar-Ola, November 23–28, 2015. Part 5. Innovations in Construction, Environmental Engineering and Technosphere Safety]. Yoshkar-Ola, VSUT Publ., 2015, pp. 115–117. (In Russ.)
4. Garkin A.S., Korenyuk I.Yu., Kazachinskaya S.A., eds. *Navodnenie-2013* [Flood-2013]. Talakan, 2014. 144 p. (In Russ.)
5. Pershin M.N., Kulizhnikov A.M., Radov V.P. *Dorozhnoe gruntovedenie* [Road Soil Science]. Saint Petersburg, SPbSUACE Publ., 1998. 153 p. (In Russ.)
6. Savel'ev V.V. *Melioratsiya lesosplavnykh putey i gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Floating Route Melioration and Hydraulic Structures]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 280 p. (In Russ.)
7. Sushkov S.I., Sergeev A.S. Algoritm obrazovaniya treshchin na pokrytii lesovoznykh dorog, ustraivaemykh na sklone, v osnovanii kotorykh zalegaet glinistyiy grunt [The Algorithm of Formation of Cracks on the Logging Roads Surface Arranged on the Slope, Overlain by Clayey Soil at the Base]. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 1(25), pp. 118–126.
8. Bednarouk S., Ovcharov E. Flood Prevention and Protection in Russia. *United Nation. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7–8 October 1999*. Berlin, 1999, no. 37, pp. 1–4.
9. Kief O., Schar Y., Pokharel S.K. High-Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure. *Indian Geotechnical Journal*, 2015, vol. 45, iss. 4, pp. 389–400.
10. Meyer N. *Determination of the Bearing Capacity of Geocell Reinforced Soil over Soft Subgrade with Static and Dynamic Plate Load Tests*. Clausthal-Zellerfeld, Germany, Institute of Geotechnical Engineering and Mine Surveying, TU Clausthal, 2007.

Received on December 15, 2017
