

Для цитирования: Батманов Э.З., Гасанов Т.Г., Гусейнов М.Р. Моделирование процесса резания минеральных грунтов пассивным рабочим органом дреноукладчика при строительстве закрытого дренажа. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (3):165-174. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-165-174

For citation: Batmanov E.Z., Gasanov T.G., Guseynov M.R. Modeling of the process of cutting mineral grounds by passive working drawner during the construction of closed drainage. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45(3):165-174. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-165-174

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 628.844

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-165-174

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУНТОВ ПАССИВНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ДРЕНОУКЛАДЧИКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

Батманов Э.З.¹, Гасанов Т.Г.², Гусейнов М.Р.³

¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻³367026, г.Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

¹e-mail:batmanov1978@mail.ru,²e-mail:Gasanov@mail.ru,³e-mail:Maratdgtu@mail.ru

Резюме. Цель. В статье описывается электронная модель почвогрунта для изучения его реологических свойств и исследования процесса резания пассивными рабочими органами (ножами) минеральных грунтов при бестраншейном способе строительства закрытого дренажа.

Метод. Сущность способа заключается в прорезании в грунте с помощью пассивного рабочего органа узкой щели под заданный уклон и одновременной закладке на ее дно дренажной (обычно пластмассовой) трубы с фильтром. **Результат.** Бестраншейный способ характеризуется возможностью укладки труб на больших скоростях, простотой конструкции дренажных машин и, что особенно важно, возможностью строительства дренажа в водонасыщенных и обрушающихся минеральных грунтах. Большим преимуществом является возможность применения дренажной машины при бестраншейном способе в условиях малых уклонов при достаточной длине укладываемых дрен. **Вывод.** Исследование процесса резания минеральных грунтов узкими глубокими ножами на электронной модели позволяет на стадии проектирования оценить влияние изменения различных факторов и параметров на режимы работы дренажной машины; внести при необходимости изменения в комплекс работ по строительству дренажа бестраншейным способом с помощью дреноукладчика БДМ-300, а также определить состав и продолжительность операций рабочего цикла бестраншейного дреноукладчика.

Ключевые слова: рабочий орган, почвогрунт, тело Бингама, критическое напряжения, реологическая модель, процесс резания, зернистая среда, одноосное сжатие, закон Гука, модель генератора

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

MODELING OF THE PROCESS OF CUTTING MINERAL GROUNDS BY PASSIVE WORKING DRAWNER DURING THE CONSTRUCTION OF CLOSED DRAINAGE

Edvard Z. Batmanov¹, Telman G. Gasanov², Marat R. Guseynov³

¹⁻³Daghestan State Technical University,

¹⁻³70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: batmanov1978@mail.ru, ²e-mail: Gasanov@mail.ru, ³e-mail: Maratdgtu@mail.ru

Abstract. Objectives. The article describes an electronic model of the soil to study its rheological properties and study the process of cutting passive working bodies (knives) of mineral soils with trenchless method of building a closed drainage. **Method.** The essence of the method consists in cutting through the ground with the help of a passive working body of a narrow slit under a given slope and simultaneously laying a drainage (usually plastic) pipe with a filter on its bottom. **Result.** The trenchless method is characterized by the possibility of laying pipes at high speeds, the simplicity of the design of drainage machines and, most importantly, the possibility of building drainage in water-saturated and collapsing mineral soils. A big advantage is the possibility of using a drainage machine with a trenchless method in conditions of small slopes with a sufficient length of stacked drains. **Conclusion.** The study of the process of cutting mineral soils with narrow, deep knives on an electronic model makes it possible, at the design stage, to evaluate the effect of changes in various factors and parameters on the operating modes of the drainage machine; if necessary, make changes to the complex of works on the construction of drainage using the trenchless method with the help of the BDM-300 bed-draining machine, as well as to determine the composition and duration of the work operations of the trench-free bed-draining machine.

Keywords: working body, soil, Bingham body, critical stress, rheological model, cutting process, granular medium, uniaxial compression, Hooke's law, generator model

Введение. Исследованиями установлена техническая и экономическая эффективность бестраншейного способа строительства закрытого дренажа [1-10]. Было также установлено, что конструкция пассивного рабочего органа бестраншейной дренажной машины должна отвечать ряду требований, обусловленных энергетическими, технологическими и чисто мелиоративными факторами. При этом наиболее существенным является обеспечение наименьшего тягового сопротивления при отсутствии перегрузок ходовой системы базового трактора.

Анализ движения гусеничной машины по неровностям поверхности земли показал, что с помощью выведенных уравнений можно описать колебания движущейся машины и определить возникающие перемещения, скорости и ускорения жёстко навешиваемого рабочего органа в зависимости от его веса, длины и ширины гусениц, положения центра тяжести, физико-механических свойств грунта (коэффициентов деформируемости), реактивных сил сопротивления движению рабочего органа, поступательной скорости движения, неровностей поверхности земли [4-11]. При этом необходимо учитывать, что эффективное снижение значений показателей колебаний рабочего органа может быть достигнуто с помощью плавающей навески. Навеска землеройного рабочего органа дренажной машины БДМ-300 на трактор ДЭТ-250 выполнена таким образом, что при изменении глубины изменяется как угол резания ножа в зоне скалывания, так и угол резания в зоне уплотнения (так называемая маятниковая навеска).

Комплекс работ по строительству дренажа бестраншейным способом состоит из шести последовательных технологических циклов:

1. Планировка под заданный уклон пути движения дреноукладчика по трассе будущей дрени, называемая чаще устройством корыта (при глубине укладки дрени свыше 2,5 м, до 2,5 м выдерживание уклона дрени осуществляется с помощью автоматической системы).

2. Устройство заходного шурфа для беспрепятственного опускания рабочего органа дре-ноукладчика на требуемую глубину в начале трассы.
3. Укладка дренажных труб и фильтра.
4. Уплотнение разрыхленного грунта над щелью с целью ее закрытия.
5. Цикл работ по устройству сооружений.
6. Обратная засыпка корыта.

При расчете комплекта машин, необходимого для поточного строительства дренажа бес-траншейным способом, общей единицей измерения производительности можно применять пог.м. за смену. В этих единицах выражается производительность ведущей машины – бестран-шейного дреноукладчика, а также выход готовой продукции.

Постановка задачи. Расчет рабочих органов землеройных машин должен основываться на знании механических свойств грунтов, которые характеризуют его способность сопротив-ляться различным деформациям и разрушению. Это так называемые реологические свойства, показателями которых являются коэффициенты тензорных уравнений, связывающих напряже-ния, деформации и их производные по времени.

Методы исследования. Под разрушением грунта понимают потерю его несущей способ-ности не только в результате распада на отдельные части, но и вследствие неспособности более сопротивляться пластическому течению. Решая задачи, связанные с разрушением грунта, его фи-зико-механические свойства рассматриваются главным образом в той мере, в какой они влияют на реологические свойства. Одной из основных задач при этом является построение реологиче-ской модели почвогрунта и нахождение соответствующих констант и параметров ее.

Процесс резания, осуществляемый дренажной машиной БДМ-300, происходит в грунтах, реологическая модель которых может быть составлена на основе теоретических концепций, из-ложенных в работе А.А.Вовк и др. [1]. Модель грунта предложено представлять в виде зернистой среды, промежутки между частицами которой заполнены водой и газом, причем между отдель-ными блоками этой среды имеется статистическая совокупность упруго-хрупких связей.

Упругая деформация минеральных частиц происходит при всестороннем сжатии, созда-ваемом давлением воды и газа в порах. При динамическом нагружении поровое пространство закрывается, преодолевая параллельно действующие в нем силы: сжатие газа и воды, силы тре-ния между частицами-блоками, силы сопротивления упруго-хрупких кристаллизационных свя-зей между блоками, разрушающимися по статистическому закону.

В связи с вышеизложенным в основу модели почвогрунта (рис.1) положено тело Бингама, которое при сдвиге до некоторого критического напряжения K остается упругим и твердым; за-тем происходит полное разрушение его структуры, и оно начинает течь, как Ньютоновская жид-кость при напряжениях.

Однако модель Бингама не отражает всей совокупности процессов, происходящих в грун-тах при резании, поэтому она усложнена.

Для учета статистической совокупности упруго-хрупких связей в модель введены сопро-тивления (3) в виде упруго-хрупких стержней, работающих на изгиб и ломающихся по мере раз-вития деформации. Принято, что расстояние между стержнями, число которых достаточно мало и что упругость стержней, а также величина критической упругости (критической упругостью будем считать значение упругости, превышение которой ведут к излому стержня) есть случай-ные функции, подчиняющиеся нормальному закону распределения. Для учета пластических свойств грунта, которые отличаются от аналогичных свойств тела Бингама, в модель введен эле-мент сухого трения (2), сопротивление которых возрастает с развитием объемной деформации.

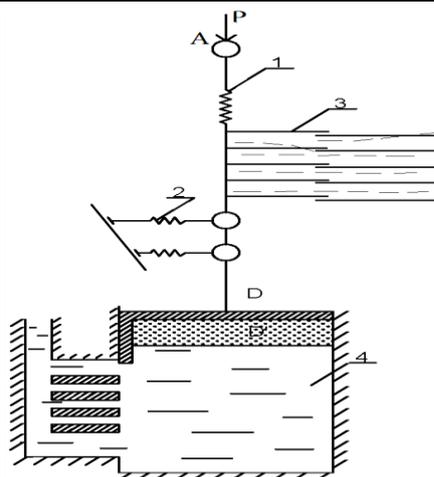


Рис.1. Реологическая модель грунтовой массы
Fig.1. Rheological model of ground mass

Критической упругостью будем считать значение упругости, превышение которой ведет к излому стержня. Для учета процессов, происходящих с жидкой и газообразной фазой в процессе резания, в модель введен сосуд (4), закрытый подвижным поршнем, соединенный жестко с элементом (1), отображающим упругие свойства твердых частиц грунта. Часть сосуда, закрытого подвижным поршнем, отвечая свободному объему пор $\alpha_3 V$, заполнена политропическим газом. Нижняя часть сосуда заполнена вязкой жидкостью, имеет боковые отверстия, через которые жидкость вытекает из сосуда. Количество ее сокращается с развитием объемной деформации грунта.

Реологическая модель грунта (рис. 1) учитывает деформирование элементарного объема с учетом изменения соотношения фаз и скелетных связей. В соответствии с реологической моделью определяется связь между напряжениями и изменениями элементарного объема при одноосном сжатии. Уравнения, описывающие работу каждого элемента модели, определяют соотношения между нагрузкой, действующей на этот элемент, соответствующей напряжению в среде, и смещением, соответствующим деформации.

Упругий элемент характеризуется законом Гука, записываемого для данного случая формулой:

$$\frac{dV_1}{dp} = \frac{1}{K}, \quad (1)$$

где V_1 - модель минеральных частиц; K – коэффициент пропорциональности при объемной деформации минералов скелета грунта.

Пластический элемент (2) характеризуется законом сухого трения при линейно возрастающей величине нормальной нагрузки

$$\frac{dp_3}{dV_3} = \alpha_1 \varphi \Delta V \quad \Delta V = V_3 - \alpha_3 V_0 \quad (2)$$

где V_3 - удельный объем свободных пор; φ – коэффициент трения; V_0 - первоначальный объем грунта до деформации; α_3 - содержание газообразной фазы в единице объема.

Вязкий элемент (3) определяется законом вязкости течения:

$$P_n = -\mu \frac{dV_2}{dt}, \quad (3)$$

где V_2 - объем заполненных водой пор; μ – коэффициент вязкости, определяемый соотношением:

$$\mu = \mu(V) = \mu_0 \left(1 + \frac{V_0}{V}\right)$$

Сила сопротивления каждого стержня из серии упруго-хрупких элементов (3) до разрушения стержня определяется законом Гука. При равной прочности элементов соотношение между величиной ΔV_1 , пропорциональной деформированию связей, и приращением силы может быть записано в форме:

$$\Delta P_3 = E_k \Delta V \quad (4)$$

где E_k – модуль пропорциональности.

В связи с тем, что прочность элементов различна и разрушаются они неодновременно, по случайному закону, величина E_k есть случайная функция, подчиняющаяся нормальному закону распределения плотности вероятности R_x того или иного значения. E_k подчиняется кривой Гаусса, уравнение которой представлено в следующем виде:

$$R_{(x)} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}},$$

где x_i и x_{cp} – текущее и среднее значение функций; σ – среднеквадратичное отклонение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2 - nx_{cp}^2}{n}}$$

n - число значений одного переменного x_i .

В дифференциальной форме соотношение (4) записывается в виде:

$$\frac{dP_3}{dV_3} = E(V) \quad (5)$$

Сжимаемый в замкнутом объеме газ (элемент 4) характеризуется уравнением состояния политропического газа:

$$p' = AV^{-\beta}; \quad p' = p_3 - p_0;$$

записываемого для рассматриваемого случая:

$$\frac{dV_3}{dP_n} = A\beta^{-1}V^{-1-\beta} \quad (6)$$

где A - газовая постоянная; β - показатель политропы; P_0 - атмосферное давление.

Соотношения между элементами определяются в соответствии со следующими дифференциальными уравнениями:

$$dV = dV_1 + dV_2 + dV_3 \quad (7)$$

где $V = V_{ck} + V_n$; $V_n = V_2 + V_3$; $V_{ck} = \alpha_1 \cdot V_o$;

$$V_2 = \alpha_2 \cdot V_o; \quad V_3 = \alpha_3 \cdot V_o;$$

$$dP = \frac{dP_2}{dV_n} dV_n + \frac{dP_3}{dV_n} dV_n + \frac{dP_4}{dV_n} dV_n;$$

$$dV = \frac{dV_3}{dP_4} dP_4 + \frac{dV_2}{dP_4} dP_4.$$

С учетом уравнения (7) общее уравнение, описывающее реологическую модель грунта, будет иметь вид:

$$dP - (dV - \frac{dV_1}{dP} dP) \cdot (\frac{dP_4}{dV_n} + \frac{dP_2}{dV_n} + \frac{dP_3}{dV_n}) = 0 \quad (8)$$

Подставляя значения соответствующих производных из выражений (1-6), получаем:

$$dP - (dV - \frac{dP}{K}) \cdot (A\beta^{-1}V^{-1-\beta} + \alpha_1\varphi\Delta V + E_k(V)) = 0 \quad (9)$$

Уравнение (9) позволяет получить усилие P в функции от деформации. Отличительная особенность этого уравнения заключается в том, что оно позволяет связать усилие, действующее на лобовую поверхность рабочего органа, с физическими показателями грунта. Фигурирующие в уравнении коэффициенты K_1, α_1, φ и другие определяются через смещение грунта, угол внутреннего трения и модуль пропорциональности при одноосном сжатии. Величина P_0 определяется как напряжение от веса столба (H – глубины погружения).

Нижеприведенные формулы позволяют определить показатели в уравнении, как коэффициенты, через ряд других показателей грунта, определяемых в полевых условиях

$$\rho = \alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2 + \alpha_3\rho_3,$$

где ρ – плотность грунта в целом; $\rho_1; \rho_2; \rho_3$ – плотность отдельных его фаз.

$$\rho_1 \approx 2,5 - 2,8 \text{ г/см}^3,$$

$$\rho_2 \approx 1 - 1,45 \text{ г/см}^3,$$

$$\rho_3 \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3.$$

$$\gamma_{ск} = \alpha_1\rho_1 - \text{объемный вес скелета}; W_g = \frac{\alpha_2\rho_2}{\alpha_1\rho_1} - \text{весовая влажность};$$

$$W_v = \alpha_2\rho_2 - \text{объемная влажность}; n_{ог} = \alpha_2 + \alpha_3 - \text{общая пористость};$$

$$n_{св} = \alpha_3 - \text{свободная пористость}; \varepsilon_n = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{\alpha_1} - \text{коэффициент пористости}.$$

Трудность решения уравнения (9) на АВМ заключается в моделировании случайной функции $E_k(V)$, которая подчиняется нормальному закону распределения.

Электронная модель генератора случайных величин, подчиняющихся нормальному закону распределения, приведена на рис.2. Впервые эта модель описана в работе Andersen Thomas [2].

Генератор псевдослучайных чисел представляет собой сочетание двух генераторов треугольных импульсов и запоминающего устройства. 1 - генератор собран на усилителях 1-3, а П - на усилителях 5-7. На входе интегратора 2 имеется контакт, при размыкании которого напряжение на выходе 1-генератора остается неизменным.

Усилители 5,6,7 образуют схему формирования импульсов, управляющих работой реле P_1 и через него первым генератором. Дискретные значения напряжения с выхода 3-го усилителя передаются на запоминающее устройство (усилитель 4), которое работает по схеме инерционного звена во время приема информации для запоминания. Реле P_1 управляет переходом из режима инерционного звена в режим запоминающего устройства так, чтобы цепь интегратора 4 замыкалась в момент размыкания цепи интегратора 2.

Этим обеспечивается такая работа схемы, что сигнал X_k сохраняет значение X в интервале времени между размыканием контакта $1P_1$. Если отношения периодов колебания первого генератора и генератора управляющих импульсов есть число иррациональное, то напряжение X_k будет принимать случайные значения, равномерно распределенные в линейном диапазоне - 100в X_k 100в. Соединение усилителей 4 и 6 усиливает случайность появления X_k , обеспечивая изменение интервала срабатывания реле P_1 .

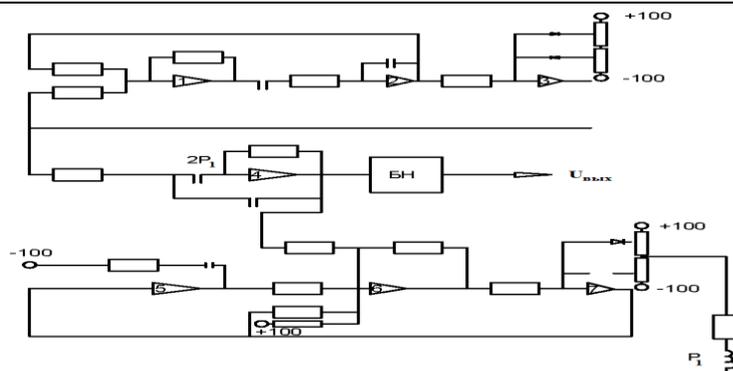


Рис.2. Электронная модель генератора псевдослучайных чисел
Fig.2. Electronic Model of Pseudorandom Number Generator

Усилие, действующее со стороны грунта на рабочий орган, можно разложить на нормальные и касательные составляющие отдельно для каждой зоны:

$$N_1 = P_1 \cos \rho_1; \quad N_2 = P_2 \cos f;$$

$$T_1 = P_1 \sin \rho_1; \quad T_2 = P_2 \sin f.$$

Сила трения, действующая со стороны грунта на боковые поверхности ножа ($T_{бок}$), зависит от многих факторов: от конструкции ножа и его материала, физико-механических свойств грунта, качества обработки боковой поверхности ножа, относительной скорости скольжения трущихся поверхностей, давления на трущиеся поверхности, а также от коэффициента трения, который, в свою очередь, является функцией многих переменных.

Обсуждение результатов. При составлении математического описания процесса выделяют три составляющих силы трения (4):

- составляющую, пропорциональную давлению на трущиеся поверхности $Pf_{тр}$;
- составляющую, пропорциональную скорости X движения рабочего органа C_1X ;
- составляющую, которая является функцией параметров, трудно поддающихся математическому описанию.

Поэтому в первом приближении эта составляющая принимается постоянной C_0 .

$$\text{Таким образом, } 2T_{бок} = f_{mp} P_o + c_1 x + c_o$$

Для составления дифференциального уравнения движения рабочего органа воспользуемся принципом Даламбера. Уравнение, описывающее продвижение ножа, имеет вид:

$$P_T - 2T_{бок} - P_1 \cos(90^\circ - \alpha_1 - \rho) - P_2 \cos(90^\circ - \alpha_2 - f) = \frac{G_2}{g} \ddot{x} \quad (10)$$

Структурная схема решения задачи на АВМ, составленная в соответствии с уравнением (10), будет иметь вид, представленный на рис.3.

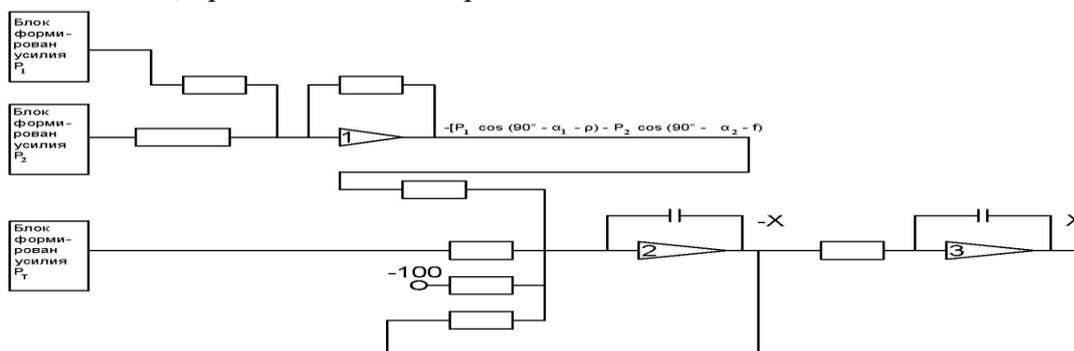


Рис.3. Структурная схема решения задачи на АВМ
Fig.3. Structural scheme for solving the problem on the AVM

При составлении математического описания процесса в первом приближении принято, что вертикальные колебания ножа малы и ими можно пренебречь.

Вывод. Исследования процесса резания минеральных грунтов узкими глубокими ножами на электронной модели позволят на стадии проектирования оценить влияние изменения различных факторов и параметров на режимы работы дренажной машины.

Библиографический список:

1. Маслов Б.С. Пути совершенствования осушительных систем. Труды ВНИИГиМ им.А.Н. Костякова. Том.52, Москва, 1972. – С.5-21.
2. Томин Е.Д. Механизация строительства закрытого дренажа. Москва, Издательство «Колос», «Хлопководство», 1978. - С.36-40.
3. Гасанов Т.Г. Устройство термического кротового дренажа. Москва, Издательство «Колос», «Хлопководство», 1978. - С.40-41.
4. Гасанов Т.Г. Прокладка кротового дренажа с термически закрепленными стенками. Москва, Издательство «Колос», «Мех. и электр.соц. сельс. хозяйства», 1978. - С.24-26.
5. Бейлин Д.Х. Механизация дренажных работ. Перспективы механизации строительства дренажа. Москва, Издательство «Колос», 1975, 256 с.
6. Томин Е.Д., Казаков В.С. Опыт строительства, эксплуатации и ремонта закрытого дренажа на осушаемых землях. Москва, Издательство «Колос», 1970, 114 с.
7. Томин Е.Д., Маммаев З.М., Гумбург Г.В. Опыт строительства закрытого дренажа на осушаемых и орошаемых землях. М., Издательство «Машиностроение», «Строительные и дорожные машины», 1975. - С.22-24.
8. Tomin E.D, Mammaev Z.M, Gumburg G.V «Onekperience in construction of mole drainage systems in areas to be dewatered and irrigated» M., Publishing house "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. - P.22-24.
9. Гасанов Т.Г., Магомедов Г.М. К вопросу борьбы с пучинообразованием на автомобильных дорогах. Махачкала: ДГИНХ, 2013. – 154 с.
10. Агаханов Э.К., Агаханов Г.Э. Математическое моделирование воздействия порового давления на скелет грунта. Строительство: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, 29-30 марта 2013 г. Махачкала: ДГИНХ, 2013. – 154 с.
11. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М. Издательство АСВ, 1995.- 568 с.
12. Черный Г.И., Смирнов А.Г. Основы динамики грунтов и ее практическое приложение. «Наукова думка», 1968.
13. Агаханов Э.К., Магомедэминов Н.С. Раджабов Р.Г. Моделирование напряжений в композитном изделии стандартным оптически чувствительным материалом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44(4):8-18.
14. Варданян Г.С. Прикладная механика: применение методов теории подобия и анализа размерностей к моделированию задач механики деформируемого твердого тела, Учебное пособие, - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 174 с.
15. Клименко Н.И. Решение задач о напряженном состоянии вращающихся неоднородных в окружном направлении анизотропных полых цилиндров. Прикл. мех., Киев, 1999, 35, №12, с. 56-62.
16. Прейсс А.К., Граненко Ф.А. Применение метода «замораживания» к определению напряжений на вращающихся моделях, Поляризационно-оптический метод исследования напряжений, Под ред. Н. И. Пригоровского, М., 1956, с. 271-279.
17. Рябенков Н.Г. О выполнении условий свободной границы торца связующего в теории слоистых конструкций//Матер. 4-го Междунар. Симпозиума, Дин.и техно. Проблемы механики конструк. и сплошных сред. Ярополец, 16-18 февр., 1998, М., 1998, с. 21-22.
18. Фриштер Л.Ю., Савостьянов В.Н. О представлении кусочно-однородной задачи теории упругости в виде суммы однородных задач, Вопросы математики, механики сплошных сред и применения математических методов в строительстве, Сб. научн. тр. МГСУ, Москва, 1999, с. 169-178.
19. Хесин Г.Л., Варданян Г.С., Мовила Н.И. Моделирование напряженного состояния конструкций из разномодульных материалов на вязкоупругих моделях, Тр. ин-та, МИСИ, 1975, Вып. 125-126, с. 81-89.
20. Шкелев Л.Т., Одинец Е.А. Приближенный метод решения пространственной задачи теории упругости, Киевск. нац. Ун-т стр-ва и архит., Киев, 1999, 8с., Деп. в ГНТБ Украины 26.07.99, №212-Ук. 99.
21. Andersen Thomas. Control system automatic. 1962, №4.
22. AshidaFumihiro, Tauchert Theodore. Control of a distribution of transient thermoelastical displacement in a composite circular disk, R.ISTAM, 2000, 20th, Intern. cong. of theor. and applied mechanics, Chicago, 27 Aug.2Sept., 2000, Abstr. Book. Urbana-Champaign (III), IUTAM, 2000, с. 166.
23. Bossavit A. On the computation of strains and stresses in symmetrical articulated structures, Exploit. Symmetry Appl. and Numer.Anal, AMS-SIAM Summer Semin, Appl. Math., Fort Collins. Colo, July 26-Aug. 1, 1992, Providence, 1993, с. 111-123.

24. Jain Rajeev, Ramachandra K., Simha K.R.Y. Rotating anisotropic disc of uniform strength, *Int. J. Mech., Sci.*, 1999, 41, №6, с. 639-648.

References:

1. Maslov B.S. Puti sovershenstvovaniya osushitel'nykh sistem. Trudy VNIIGiM im.A.N. Kostya-kova. Tom.52, Moskva, 1972. – S.5-21. [Maslov B.S. Ways to improve drainage systems. Proceedings of the VNIIGiM im.AN. Kostya-kova. Vol.52, Moscow, 1972. - P.5-21. (In Russ)]
2. Tomin Ye.D. Mekhanizatsiya stroitel'stva zakrytogo drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», «Khlopkovodstvo», 1978. - S.36-40. [Tomin E.D. Mechanization of the construction of closed drainage. Moscow, Kolos Publishing House, "Cotton Plant", 1978. - P.36-40. (In Russ)]
3. Gasanov T.G. Ustroystvo termicheskogo krotovogo drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», «Khlopkovodstvo», 1978. - S.40-41. [Gasanov T.G. Thermal mole drain device. Moscow, Kolos Publishing House, "Cotton Plant", 1978. - P.40-41. (In Russ)]
4. Gasanov T.G. Prokladka krotovogo drenazha s termicheski zakreplennymi stenkami. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», «Mekh. i elektr.sots. sel's. khozyaystva», 1978. - S.24-26. [Gasanov T.G. Lining of mole drainage with thermally fixed walls. Moscow, Kolos Publishing House, "Fur. and elektr.sots. sels economy, 1978. - P.24-26. (In Russ)]
5. Beylin D.KH. Mekhanizatsiya drenazhnykh rabot. Perspektivy mekhanizatsii stroitel'stva drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», 1975, 256 s. [Beilin D.H. Mechanization of drainage works. Prospects for the mechanization of the construction of drainage. Moscow, Kolos Publishing House, 1975, 256 p. (In Russ)]
6. Tomin Ye.D., Kazakov V.S. Opyt stroitel'stva, ekspluatatsii i remonta zakrytogo drenazha na osushayemykh zemlyakh. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», 1970, 114 s. [Tomin E.D., Kazakov V.S. Experience in the construction, operation and maintenance of closed drainage on drained lands. Moscow, Kolos Publishing House, 1970, 114 p. (In Russ)]
7. Tomin Ye.D., Mammaev Z.M., Gumburg G.V. Opyt stroitel'stva zakrytogo drenazha na osushchayemykh i oroshayemykh zemlyakh. M., Izdatel'stvo «Mashinostroyeniye», «Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny», 1975. - S.22-24. [Tomin E.D., Mammaev Z.M., Humburg G.V. Experience in the construction of closed drainage on drained and irrigated land. M., "Mashinostroyeniye", "Construction and Road Machines" Publishing House, 1975. - P.22-24. (In Russ)]
8. Tomin E.D, Mammaev Z.M, Gumburg G.V «Oneyperiencia in construction of mole drainage systems in areas to be dewatered and irrigated» M., Publishing house "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. - P.22-24. [Tomin E.D, Mammaev Z.M, Gumburg G.V "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. - P. 22-24. (In Russ)]
9. Gasanov T.G., Magomedov G.M. K voprosu bor'by s puchinoobrazovaniyem na avtomobil'nykh dorogakh. Makhachkala: DGINKH, 2013. – 154 s. [Gasanov T.G., Magomedov G.M. On the issue of combating heap formation on highways. Makhachkala: DGINKH, 2013. - 154 p. (In Russ)]
10. Agakhanov E.K., Agakhanov G.E. Matematicheskoye modelirovaniye vozdeystviya porovogo davleniya na skelet grunta. Stroitel'stvo: problemy i perspektivy: sbornik statey po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 29-30 marta 2013 g. Makhachkala: DGINKH, 2013. – 154 s. [Agakhanov, E.K., Agakhanov, G.E. Mathematical modeling of the pore pressure effect on the soil skeleton. Construction: problems and prospects: a collection of articles on the materials of the international scientific-practical conference, March 29-30, 2013. Makhachkala: DGINKH, 2013. - 154 p(In Russ)].
11. Vardanyan G.S., Andreyev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A. Soprotivleniye materialov s osnovami teorii uprugosti i plastichnosti. M. Izdatel'stvo ASV, 1995.- 568 s. [Vardanyan G.S., Andreev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A. Resistance of materials with the fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. M. Publishing House DIA, 1995.- 568 p. (In Russ)]
12. Chernyy G.I., Smirnov A.G. Osnovy dinamiki gruntov i yeye prakticheskoye prilozheniye. «Naukova dumka», 1968. [Chernyy G.I., Smirnov A.G. Fundamentals of soil dynamics and its practical application. "Naukova Dumka", 1968. (In Russ)]
13. Agakhanov E.K., Magomedeminov N.S. Radzhabov R.G. Modelirovaniye napryazheniy v kompozitnom izdelii standartnym opticheski chuvstvitel'nyim materialom. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. 2017; 44(4):8-18. [Agakhanov E.K., Magomedeminov N.S. Radjabov R.G. Stress modeling in a composite product with a standard optically sensitive material. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. 2017; 44 (4): 8-18. (In Russ)]
14. Vardanyan G.S. Prikladnaya mekhanika: primeneniye metodov teorii podobiya i analiza razmerno-stey k modelirovaniyu zadach mekhaniki deformiruyemogo tverdogo tela, Uchebnoye posobiye, - M.: NITS IN-FRA-M, 2016. - 174 s. [Vardanyan G.S. Applied mechanics: the application of the methods of the theory of similarity and analysis of dimensions to the modeling of the problems of the mechanics of a deformable solid body, Textbook, - Moscow: INITRA-M, 2016. - 174 p. (In Russ)]
15. Klimenko N.I. Resheniye zadach o napryazhennom sostoyanii vrashchayushchikhsya neodnorodnykh v okruzhnom napravlenii anizotropnykh polykh tsilindrov. Prikl. mekh., Kiyev, 1999, 35, №12, s. 56-62. [Klimenko N.I.

- Solving problems on the stressed state of rotating anisotropic hollow cylinders inhomogeneous in the circumferential direction. *Attach fur.*, Kiev, 1999, 35, №12, pp. 56-62. (In Russ)]
16. Preyss A.K., Granenko F.A. *Primeneniye metoda «zamorazhivaniya» k opredeleniyu napryazheniy na vrashchayushchikhsya modelyakh, Polarizatsionno-opticheskiy metod issledovaniya napryazheniy*, Pod red. N. I. Prigorovskogo, M., 1956, s. 271-279. [Preiss, A.K., Granenko, F.A. Application of the method of "freezing" to the determination of stresses on rotating models, Polarization-optical method for studying stresses, Ed. N. I. Prigorovskogo, M., 1956, pp. 271-279. (In Russ)]
 17. Ryabenkov N.G. *O vypolnenii usloviy svobodnoy granitsy tortsa svyazuyushchego v teorii sloistyykh konstruktssii//Mater. 4-go Mezhdunar. Simpoziuma, Din.i tekhn. Problemy mekhaniki konstruk. i sploshnykh sred. Yaropolets, 16-18 fevr., 1998, M., 1998, s. 21-22.* [Ryabenkov N.G. On the fulfillment of the conditions of the free boundary of the end face of the binder in the theory of layered structures // Mater. 4th Intern. Symposium, Din.i techno. Mechanical design problems. and continuous media. Yaropolets, Feb. 16-18, 1998, M., 1998, pp. 21-22. (In Russ)]
 18. Frishter L.YU., Savost'yanov V.N. *O predstavlenii kusochno-odnorodnoy zadachi teorii uprugosti v vide summy odnorodnykh zadach, Voprosy matematiki, mekhaniki sploshnykh sred i primeneniya matema-ticheskikh metodov v stroitel'stve, Sb. nauchn. tr. MGSU, Moskva, 1999, s. 169-178.* [Frishter L.Yu., Savostyanov V.N. On the representation of the piecewise-homogeneous problem of the theory of elasticity as a sum of homogeneous problems, Mathematical problems, continuum mechanics and the application of mathematical methods in construction, Coll. scientific tr. MGSU, Moscow, 1999, pp. 169-178. (In Russ)]
 19. Khesin G.L., Vardanyan G.S., Movila N.I. *Modelirovaniye napryazhennogo sostoyaniya konstruktssiy iz raznomodul'nykh materialov na vyzkouprugikh modelyakh, Tr. in-ta, MISI, 1975, Vyp. 125-126, s. 81-89.* [Khesin G.L., Vardanyan G.S., Movila N.I. Simulation of the stress state of structures from multi-modular materials on viscoelastic models, Tr. Inst., IISS, 1975, Vol. 125-126, pp. 81-89. (In Russ)]
Shkelev L.T., Odinets Ye.A. *Priblizhennyi metod resheniya prostranstvennoy zadachi teorii uprugosti, Kiyevsk. nats. Un-t str-va i arkhitekt., Kiyev, 1999, 8s., Dep. v GNTB Ukrainy 26.07.99, №212-Uk. 99.*
 20. [Shkelev L.T., Odinets E.A. *An approximate method for solving the spatial problem of the theory of elasticity, Kiev. nat University of Construction and Architect., Kiev, 1999, 8c., Dep. at the State Scientific and Technical Library of Ukraine on July 26, 1999, No. 212-Uk. 99(In Russ)]*
 21. Andersen Thomas. *Control system automatic. 1962, №4.*
 22. AshidaFumihiko, Tauchert Theodore. *Control of a distribution of transient thermoelalastic displacement in a composite circular disk, R.ISTAM, 2000, 20th, Intern. cong. of theor. and applied mechanics, Chicago, 27 Aug.2Sept., 2000, Abstr. Book. Urbana-Champaign (III), IUTAM, 2000, p. 166.*
 23. Bossavit A. *On the computation of strains and stresses in summetrical articulated structures, Exploit. Symmetry Appl. and Numer.Anal. AMS-SIAM Summer Semin, Appl. Math., Fort Collins. Colo, July 26-Aug. 1, 1992, Providence, 1993, pp. 111-123.*
 24. Jain Rajeev, Ramachandra K., Simha K.R.Y. *Rotating anisotropic disc of uniform strength, Int. J. Mech., Sci., 1999, 41, №6, pp. 639-648.*

Сведения об авторах.

Батманов Эдвард Загидинович – кандидат технических наук, декан транспортного факультета.

Гасанов Тельман Гамзатович – кандидат технических наук, доцент, кафедра организации и безопасности движения.

Гусейнов Марат Рамизович – старший преподаватель, кафедра автомобильных дорог, оснований и фундаментов.

Information about the authors:

Edvard Z. Batmanov – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Dean of the Faculty of Transport

Telman G. Gasanov – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of organization and traffic safety.

Marat R. Guseynov–Senior Lecturer, Department of highways, foundations and foundations.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 10.08.2018.

Received 10.08.2018.

Принята в печать 18.09.2018.

Accepted for publication 18.09.2018.