

Для цитирования: Т.Г. Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов, М.Н. Нажмудинова. Определение динамических свойств гусеничного движителя гидромелиоративных машин и способа шарнирной навески рабочего органа бестраншейного дреноукладчика. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (4):122-131. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-122-131

For citation: T.G. Gasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseynov, M.N. Nazhmudinova. Determination of dynamic properties of the caterpillar drive of hydraulic reclamation machines and the method of articulated attachment of the working body of the trenchless pipelayer. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(4):122-131. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-122-131

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 626.862.7

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-122-131

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН И СПОСОБА ШАРНИРНОЙ НАВЕСКИ РАБОЧЕГО ОРГАНА БЕСТРАНШЕЙНОГО ДРЕНОУКЛАДЧИКА

Т.Г.Гасанов, Э.З. Батманов, М.Р. Гусейнов, М.Н. Нажмудинова

Дагестанский государственный технический университет,
367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является определение требований, предъявляемым к различным устройствам гидромелиоративных машин, получивших широкое распространение при строительстве каналов и дренажей, для поддержания заданного уклона, а также расчет исполнительного механизма, служащего для устранения колебательных перемещений рабочего органа относительно линии заданного уклона. **Метод.** Приведено математическое описание колебаний рабочего органа для гусеничных гидромелиоративных машин с навесными рабочими органами. **Результат.** В статье приведены результаты исследований по выявлению основных факторов, влияющих на колебания рабочего органа гусеничных мелиоративных машин. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что при переезде гусеничной машиной с жестким ходовым оборудованием единичных и многочисленных неровностей, перемещения режущей кромки жестко навешенного рабочего органа графически изображаются синусоидальными кривыми. Полученные зависимости дают возможность провести расчеты автоматической системы выдерживания заданного уклона, и установить область устойчивых режимов работы системы. Приведен геометрический способ оптимизации шарнирной навески рабочего органа бестраншейных дреноукладчиков. **Вывод.** Предложенные методы повышения эксплуатационных показателей гусеничных гидромелиоративных машин с навесными рабочими органами при движении по неровностям грунтовой поверхности могут быть применены при создании широкого класса навесных землеройных машин, как с пассивными, так и с активными рабочими органами

Ключевые слова: неровности, колебания, уравнения, гусеница, рабочий орган, навеска, скорость, шарнир, дреноукладчик, расчетная схема

DETERMINATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF THE CATERPILLAR DRIVE OF HYDRAULIC RECLAMATION MACHINES AND THE METHOD OF ARTICULATED ATTACHMENT OF THE WORKING BODY OF THE TRENCHLESS PIPELAYER

T.G. Gasanov, E.Z. Batmanov, M.R. Guseynov, M.N. Nazhmudinova

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The objective of the study is to determine the requirements for various devices of hydraulic reclamation machines, which are widely used in the construction of canals and drains, to maintain a given slope, as well as the calculation of the executive mechanism that serves to

*eliminate the oscillating movement of the working body relative to the line of the specified slope. **Methods.** A mathematical description of the vibrations of the working body for caterpillar hydraulic reclamation machines with mounted working bodies is given. **Results.** The article presents the results of research to identify the main factors affecting the oscillations of the working body of caterpillar reclamation machines. As a result of theoretical and experimental studies, it was found that when a caterpillar machine with a rigid undercarriage crosses single and multiple irregularities, the movement of the cutting edge of the rigidly mounted working body is graphically depicted by sinusoidal curves. The obtained dependencies allow conducting calculations of the automatic system of maintaining the specified slope and establish the area of stable modes of system operation. A geometric method for optimizing the hinge linkage of the working body of trenchless pipelayer is presented. **Conclusion.** The proposed methods of improving the performance of caterpillar hydraulic reclamation machines with mounted working bodies when moving on uneven ground surfaces can be used to create a wide class of mounted earthmoving machines, both with passive and active working bodies*

Keywords: unevenness, vibrations, equations, caterpillar, working body, sample, speed, hinge, pipelayer, design scheme

Введение. Одной из основных задач механизированного строительства каналов и дренажей является выполнение продольного заданного уклона. Неровности грунта, по которым передвигается мелиоративная машина в процессе работы, - причина значительных колебаний всей машины и ее рабочего органа, в частности. Размер и характер этих колебаний определяются многими факторами, среди которых существенное значение имеют конструкция и основные параметры гусеничного движителя. При этом гусеничный движитель следует рассматривать как динамическое звено, преобразующее неровности грунта в колебания машин. Для машин, от которых требуется точное поддержание заданных координат рабочего органа, динамические свойства гусеничного движителя приобретают большое практическое значение. К числу таких машин относятся, в частности, дренажники, экскаваторы-каналокапатели, траншейные экскаваторы и др. [1-10].

В процессе перемещения гусеничный движитель деформируется сам, деформирует неровности грунта и преобразует возмущения от деформированных неровностей грунта в линейные и угловые перемещения рамы машины.

Постановка задачи. Известно, что при движении гидромелиоративной машины по неровностям трассы прокладываемого канала или дренажа она испытывает продольные угловые колебания, приводящие к отклонениям рабочего органа от линии заданного уклона, вследствие чего дно канала или дренажа получается неровными.

Выявление и изучение основных факторов, влияющих на колебания рабочего органа, и математическое описание этих колебаний является важной задачей, решение которой позволяет определить степень влияния основных факторов на колебания рабочего органа, и наметить различные способы для устранения или снижения возникающих отклонений рабочего органа от линии заданного уклона. Вычисление колебаний гидромелиоративных машин даст возможность, кроме того, устанавливать требования, предъявляемые к различным устройствам для поддержания заданного уклона, и производить расчет исполнительного механизма, служащего для устранения колебательных перемещений рабочего органа относительно линии заданного уклона [1, 11, 13].

Методы исследования. Определение колебаний производилось для гусеничных мелиоративных машин с навесными рабочими органами, получившими широкое распространение при строительстве каналов и дренажей. Оценка колебаний производилась по следующим основным показателям: угловым перемещениям, скоростям и ускорениям системы гусеничная машина – рабочий орган и линейным вертикальным перемещениям, скоростям и ускорениям в зоне расположения режущей кромки навесного рабочего органа.

Для определения перечисленных оценочных показателей колебаний рассмотрим движение гусеничной машины с жестким ходовым оборудованием и с жестко навешенным рабочим

органом. На рис. 1 представлена схема сил, действующих на гусеничную машину с общим рабочим органом весом P . На опорную поверхность гусеничного движителя действуют нормальные $q(x^1)$ и касательные τ_i реакции грунта, на передний каток – лобовое сопротивление W . Реакцию грунта, на какой – либо жестко навешенный рабочий орган можно выразить через одну равнодействующую силу R или через две ее составляющие Rx^1 и Ry^1 в точке приложения D .

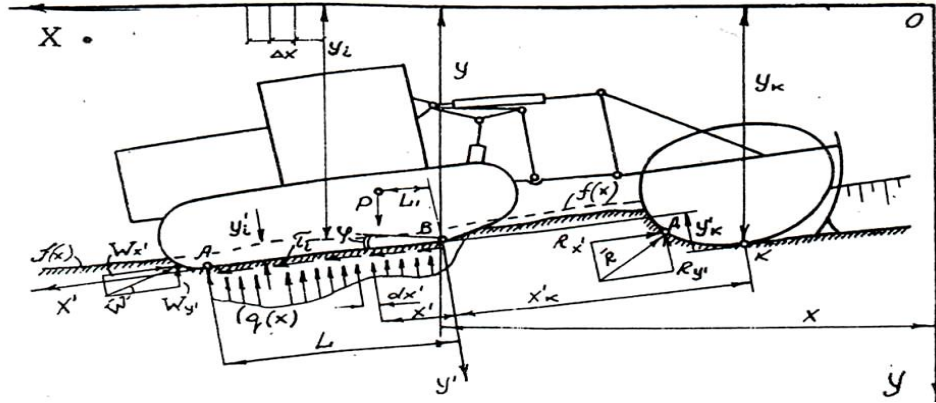


Рис. 1. Схема действия сил на гусеничную машину
 Fig.1. Scheme of the action of forces on a tracked vehicle

Главной отличительной особенностью движения гусеничной машины на грунтах со слабой несущей способностью является проседание гусеничного движителя на некоторую глубину от поверхности земли. Просадку опорной базы гусеничной машины принято выражать по формулам, аналогичным зависимостям погружения плоских штампов в грунт [14-17]. Для расчета была принята показательная зависимость

$$q = c \cdot h^\mu \quad (1)$$

где q – удельное давление; h – осадка; c, μ – коэффициенты деформируемости грунта.

Пользуясь этой зависимостью и выражая величину деформации грунта через разность отметок поверхности земли и опорной базы, составим два уравнения движения. Допуская, что действием сил инерции можно пренебречь, т.к. изменения углов наклона гусеничной машины находится в пределах $\pm 6^\circ$ ($\cos \varphi \approx 1$), а величины ускорений центра масс системы достаточно малы, получим:

$$2\epsilon c \int_0^L [f(x_1 x') - y - x' \cdot \operatorname{tg} \varphi]^\mu dx' - P + 2\epsilon c \left(1 - \frac{\mu}{3}\right) \cdot D^{\frac{1}{2}} [f(x_A) - y - L \cdot \operatorname{tg} \varphi]^{\mu+0,5} + R_y^1(x_1 y_1 \varphi) = 0 \quad (2)$$

$$2\epsilon c \int_0^L x' [f(x_1 x') - y - x' \cdot \operatorname{tg} \varphi]^\mu dx' - PL_1 + \frac{\epsilon c}{\mu+1} [f(x_A) - y - L \cdot \operatorname{tg} \varphi]^{\mu+2} + 2\epsilon c \cdot L \left(1 - \frac{\mu}{3}\right) \cdot D^{\frac{1}{2}} \cdot [f(x_A) - y - L \cdot \operatorname{tg} \varphi]^{\mu+0,5} - M_R(x_1 y_1 \varphi) = 0 \quad (3)$$

где x, y – координаты точки В; φ – угловые перемещения системы; ϵ – ширина гусениц; x^1 – координата элементарного участка dx^1 ; $f(x_1 x^1)$ – уравнение поверхности земли относительно координат XOY на длине контакта с гусеничным движителем; D – диаметр переднего катка трактора; L_1 – координата центра тяжести; $f(x_A)$ – ордината рельефа в месте прохождения точки А гусеничного движителя; L – длина активно-опорного участка гусеничного движителя; $M_R(x_1 y_1 \varphi)$ – момент равнодействующей R относительно точки опорной поверхности над задним катком В.

Третий член уравнения (2), а также третий и четвертый члены уравнения (3) определялись по известным выражениям лобового сопротивления катящегося по деформируемому грунту колеса.

Ординату точки К режущей кромки рабочего органа выразим формулой

$$y_k = y - x_k^1 \cdot \sin \varphi + y_k^1 \quad (4)$$

где: x_k^1 , y_k^1 - координаты точки К режущей кромки рабочего органа.

Для решения системы интегральных уравнений и определения неизвестных y , y_k и φ был использован метод последовательных приближений Ньютона. Вычислить значение y и φ можно по составленному алгоритму с использованием ЭВМ.

Движение машины можно моделировать смещением опорной базы через равные интервалы и для дискретных значений x_i , вычислить y_i и φ_i . Неровности поверхности земли задаются таблично через средние значения ординат под левой и правой гусеницами. Значения угловых и линейных скоростей и ускорений устанавливаются по формулам численного дифференцирования в зависимости от полученных величин φ_i и y_{ki} и поступательной скорости движения машины [14,16].

Обсуждение результатов. Составленный алгоритм решения позволяет исследовать и определять перемещения, скорости и ускорения любой точки жесткой системы гусеничной машины и ее рабочего органа в зависимости от параметров, входящих в уравнение (2) и (3). При этом вычисление колебаний можно производить, как на единичных или многочисленных неровностях, так и на неровностях случайного характера, задаваемых таблично.

Экспериментальные исследования проводились на специальной гусеничной установке и на фрезерном каналопателе КФН-1000. На испытательном полигоне неровности создавались искусственно (бульдозером с последующей ручной доделкой до заданного профиля). Продольные колебания экспериментальных машин при переезде неровностей фиксировались измерительным устройством, поперечные колебания остова замерялись маятниковым угломером.

Для записи перемещений ползунков реостатов измерительного устройства, регистрации углов поворота маятникового датчика и фиксирования снимаемых характеристик была использована тензометрическая лаборатория на базе автомобиля ГАЗ-63. Для изучения влияния типов ходового оборудования экспериментальные гусеничные машины оборудовались жесткой ходовой подвеской в виде тележек на семи опорных катках и обычной балансирной подвеской трактора Д-54. Исследования проводились как с жесткой навеской рабочего органа, так и с плавающей, где рабочий орган опирался на лыжу, соединенную с отвальным корпусом при помощи дополнительного цилиндра; основные гидроцилиндры переводились в плавающее положение.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что при переезде гусеничной машиной с жестким ходовым оборудованием единичных и многочисленных неровностей, перемещения режущей кромки жестко навешенного рабочего органа графически изображаются синусоидальными кривыми.

Зависимости перемещений скоростей и ускорений являются исходными данными для обоснования выбора параметров исполнительного механизма. Так при выборе длины штока исполнительного гидроцилиндра и его расположения на машине необходимо учитывать максимально возможные перемещения рабочего органа (А), которые необходимо компенсировать ходом штока исполнительного гидроцилиндра. Скорость движения штока и соответственно расход масла в гидросистеме должны выбираться, исходя из максимально возникающих скоростей подъема рабочего органа (V).

При расчете возникающих усилий в исполнительном цилиндре, рабочем органе и т.д. необходимо учитывать дополнительные усилия, обусловленные инерцией рабочего органа в зависимости от значений возникающих ускорений (W). Указанные зависимости могут быть использованы и для выбора необходимого быстродействия, чувствительности датчика и т.д.

Полученные результаты дают возможность также провести расчеты автоматической системы выдерживания заданного уклона и установить ориентировочно динамические характеристики, области устойчивых режимов работы системы и области автоколебаний, время срабатывания исполнительного звена, величины динамической ошибки слежения и др.

Исследования по выявлению влияния параметров неровностей показали, что с увеличением высоты неровностей h (при сохранении постоянной длины l) пропорционально возрастают экстремальные значения перемещений, скоростей и ускорений гусеничной машины. Их наибольшие значения соответствуют максимальным выбранным значениям высот неровностей ($l=8\text{ м}$ и $h=8\text{ см}$).

С увеличением длины единичных неровностей l (при постоянной их высоте h) наблюдается сначала резкое увеличение экспериментальных значений перемещений, скоростей и ускорений жесткой системы гусеничной машины, а затем плавное их уменьшение. Наибольшие перемещения, скорости и ускорения возникают при переезде неровностей, длина которых находится в пределах $l=1,0-2,0\text{ м}$.

Полученные величины длин неровностей характеризуют наиболее неблагоприятные условия работы гусеничных машин с опорной базой равной 2,0. При изменении длины базы характер зависимостей остается прежним, и максимальные значения амплитуд соответствуют отношению длины опорной базы длине неровностей равному 1:2.

Оценочные параметры в значительной степени зависят от физико-механических свойств грунта, характеризующихся коэффициентами деформируемости.

Экспериментальные исследования показали, что перемещения, скорости и ускорения жесткой системы гусеничной машины на суглинистых грунтах в 1,5–2 раза больше, чем на торфяных грунтах со слабой несущей способностью при эквивалентных значениях параметров неровностей.

Как было установлено, отклонения жестко навешенного рабочего органа от средней линии уклона могут меняться в широких пределах (6–40 см) при скоростях и ускорениях в диапазонах 0,4–1,3 см/с и 0,03–0,09 см/с² (первые пределы соответствуют характерным, а вторые – наиболее неблагоприятным условиям работы машины). Указанные величины были определены при скорости движения каналокопателя равной 1 см/с. При увеличении скорости движения пропорционально растут значения скоростей и ускорений режущей кромки жестко навешенного рабочего органа.

Большое разнообразие встречаемых неровностей поверхности земли в значительной степени осложняют задачу автоматизации строительства каналов и дренажей по заданному уклону. Автоматическое регулирование в различных условиях работы приводит или к невыполнению требуемой точности выдерживания заданного уклона при настройке на какую-либо определенную скорость движения исполнительного механизма, или к тому, что выполнение требуемой точности регулирования может быть достигнуто за счет значительного усложнения автоматической системы, чувствительной к различным скоростям перемещений рабочего органа. Для обеспечения выполнения заданного уклона с помощью простых автоматических устройств необходимо снижать возникающие максимальные перемещения, скорости, ускорения рабочего органа.

Эффективное снижение значений показателей колебаний рабочего органа может быть достигнуто с помощью плавающей навески. При переезде каналокопателя с плавающей навеской через единичные неровности амплитуда колебаний рабочего органа по сравнению с жесткой навеской уменьшается в 3–4 раза.

Степень сглаживания неровности зависит от конструктивного исполнения навески, типа рабочего органа и режимов его работы. Наименьшие отклонения рабочего органа наблюдаются при устойчивой его работе, когда обеспечивается равновесие действия сил сопротивления движению и общего веса рабочего органа с находящимся на нем грунтом. Нарушение равнодействия приложенных сил приводит к самозаглублению или самовыглублению рабочего органа.

Как показали исследования, по сравнению с жестким ходовым оборудованием балансирная подвеска позволяет в 1,1 – 1,3 раза уменьшить колебания рабочего органа, жестко навешиваемого на базовую машину, за счет сжатия и растяжения пружин подвески эффективность уменьшения колебаний определяется жесткостью пружин, их запасом хода, конструк-

тивным выполнением и величиной возникающих реактивных сил сопротивления движению рабочего органа.

При реальных условиях работы на различных объектах требуемая точность выполнения заданного уклона не всегда может быть достигнута. Поэтому испытания этих устройств и механизмов уклона целесообразнее проводить на искусственных неровностях, охватывающих как характерные, так и наиболее неблагоприятные условия работ. Это будет гарантировать устойчивое выполнение требуемой точности при работе на различных объектах.

Одним из важнейших этапов проектирования бестраншейных дренаукладчиков – выбор типа и определение размеров элементов навески рабочего оборудования на тягач. При решении этой задачи для машин, имеющих навеску «Мелиомат», снабженных системами автоматической стабилизации пространственного положения рабочего оборудования, приходится сталкиваться с необходимостью одновременного удовлетворения двух условий: с целью компенсации кинематических возмущений, поступающих на рабочее оборудование от тягача при его движении по неровностям трассы, шарнир крепления рабочего оборудования должен перемещаться по вертикали относительно тягача; эпюра давлений под опорной поверхностью тягача должна изменяться наименьшим образом при работе машин в различных условиях.

Для того чтобы одновременно выполнить эти требования, приходится анализировать большое число вариантов. Известные аналитические способы в этом случае трудоемки и лишены наглядности, что затрудняет поиск оптимального решения.

Можно предложить геометрический способ оптимизации шарнирной навески, который отличается большой наглядностью и меньшей трудоемкостью. Погрешность расчета таким способом вполне приемлема, так как исходные данные, особенно по внешним нагрузкам, нельзя определить достаточно точно.

Рассмотрим порядок расчета на примере анализа шарнирной навески рабочего оборудования бестраншейного дренаукладчика. Упрощенная расчетная схема показана на рис.2. Рабочий орган А с леей В крепится в шарнире 1 к тягачу С, имеющему жесткий гусеничный ход [12-14].

Совокупность сил, действующих на тягач, сводится к одной равнодействующей S , вертикальная составляющая V которой, определяет среднее значение давлений, а момент M относительно центра опорной поверхности гусеницы D определяет разность между максимальным и минимальными значениями давлений.

Любое изменение условий работы рабочего органа отражается на значении давлений, эпюра которых может меняться от треугольной формы на части опорной поверхности до прямоугольной на всей поверхности. Последнюю форму эпюры нельзя сохранить при всех условиях работы. Поэтому оптимальным представляется такой вариант навески рабочего органа, при котором в наиболее вероятной области изменения рабочих условий соблюдается равенство

$$|M_{\min}| = M_{\max}$$

где $M_{\min}$ и $M_{\max}$ – минимальный и максимальный момент равнодействующей S относительно опорной поверхности.

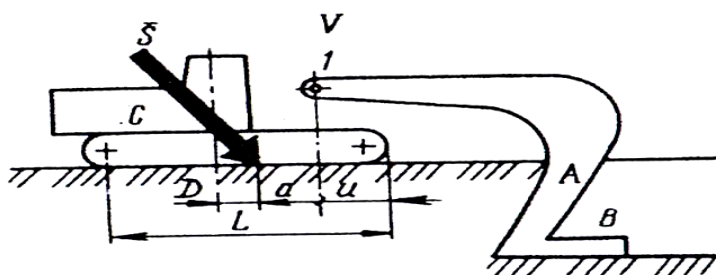


Рис.2. Расчетная схема дренаукладчика
 Fig.2. Design scheme of the drainage machine

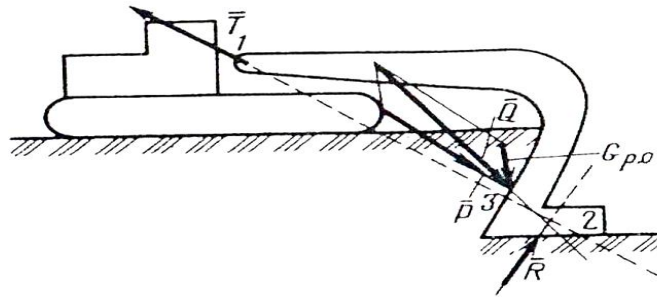


Рис.3. Геометрический способ определения положения шарнирного крепления рабочего органа на тягаче

Fig.3. Geometric method for determining the position of the pivot attachment of the working body on the tractor

При этом желательно выполнять условие (рис.2)

$$a < L/6$$

Задача выбора наилучшей навески сводится к определению благоприятной области расположения шарнира 1 по высоте на вертикали U-V. При выполнении расчета положение вертикали U-V выбирается по конструктивным соображениям.

Для построения геометрического метода поиска оптимального варианта навески рассмотрим силовое воздействие между рабочим органом, тягачом и грунтовым массивом в предположении постоянства значений массы и резания грунта [18- 20].

На рабочий орган (рис.3) в общем случае действует его масса $\bar{G}_{po}$ и равнодействующая рабочих сил резания грунта, трения его о бункер и т.д. Опорами рабочего органа служит шарнир на тягаче и лыжа. Соответственно на них возникают опорные реакции – на шарнире $\bar{T}$ и $\bar{R}$ и на шарнире R. Для определения реакций $\bar{T}$ и $\bar{R}$ найдем сумму $\bar{Q} = \bar{G}_{po} + \bar{P}$. При известном коэффициенте трения f лыжи по грунту линия действия реакции $\bar{R}$ наклонена к вертикали под углом $\mu = \arctg f$ и проходит ориентировочно через центр опорной поверхности лыжи. Продолжим линии действия сил $\bar{Q}$ и $\bar{R}$ до пересечения в точке 2 и соединим ее с предполагаемым шарниром 1.

Разложим силу Q по направлениям реакции $\bar{R}$ и прямой 1...2, в результате чего получим значение реакции грунта на лыжу $\bar{R}$ и тяги в шарнире $\bar{T}$. При изменении положения шарнира 1 по высоте соответственно получаются различные значения опорных реакций $\bar{R}$ и $\bar{T}$. Дреноукладчик находится в равновесии под действием сил $G = \bar{G}_m + \bar{G}_{po}$, $\bar{P}$, $\bar{R}$ и реакции $\bar{S} = -\bar{S}^1$ опорной поверхности гусеницы так, что $\bar{G} + \bar{P} + \bar{R} + \bar{S}^1 = 0$ откуда $\bar{S} = \bar{G} + \bar{P} + \bar{R}$. Следовательно, линия действия силы $\bar{S}$ при любом положении шарнира 1 по высоте проходит через точку 3 пересечения равнодействующей постоянных в данном случае сил $\bar{G}$ и $\bar{P}$ и известной по направлению реакции $\bar{R}$.

Из рассмотренного равновесия тягача следует: $\bar{S} = \bar{G}_T - \bar{T}$, что при известном положении шарнира 1 позволяет определить как значение $\bar{S}$, так и точку 3. Изложенное позволяет дать простой способ определения положения шарнира 1 по высоте, соответствующего заданному положению центра давления гусеницы и известным рабочим нагрузкам. Он сводится к следующей последовательности операций.

Задаемся произвольным положением шарнира 1 по высоте. Находим сумму $\bar{Q} = \bar{G}_{po} + \bar{P}$ и раскладываем на направления 1...2 и реакции $\bar{R}$, находя таким образом значе-

ния $\bar{T}$ и $\bar{R}$. Определяем сумму $\bar{S} = \bar{G}_T - \bar{T}$ и продолжаем линию действия суммарного вектора $\bar{S}$ до пересечения с линией действия реакции $\bar{R}$ в точке 3.

Из найденной точки 3 через заданный центр давления 4 проводим прямую до пересечения с линией действия массы $\bar{G}_T$ в точке 5. Последнюю соединяем прямой с точкой 2. На ее пересечении с вертикалью U-V находится искомое положение шарнира 1.

Задаваясь набором положений центра давления и проделав описанные достаточно простые геометрические построения, можно получить соответствующий набор положения шарнира по высоте, а также соответствующие значения равнодействующих $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_n$. Выполнение этих построений для предельных рабочих условий позволяет так выбрать положение шарнира 1 по высоте, что условие оптимальности $|M_{\min}| = M_{\max}$ оказывается выполненным.

Вывод. Изложенный метод расчета применяется без изменения и при анализе эпюры давлений под тягачом в случае перемещающегося по высоте в процессе работы шарнира 1. Для этого достаточно рассмотреть два случая, соответствующих максимальной и минимальной глубине копания рабочего органа.

Метод без изменений может быть применен при создании широкого класса навесных землеройных машин, как с пассивными, так и с активными рабочими органами.

Библиографический список:

1. Батманов Э.З., Гасанов Т.Г., Гусейнов М.Р. Моделирование процесса резания минеральных грунтов пассивным рабочим органом дренажника 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.
2. Маслов Б.С. Пути совершенствования осушительных систем. Труды ВНИИГиМ им.А.Н. Костякова. Том.52, Москва, 1972. С.5-21.
3. Томин Е.Д. Механизация строительства закрытого дренажа. Москва, Издательство «Колос», «Хлопководство», 1978. С.36-40.
4. Гасанов Т.Г. Устройство термического кротового дренажа. Москва, Издательство «Колос», «Хлопководство», 1978. С.40-41.
5. Гасанов Т.Г. Прокладка кротового дренажа с термически закрепленными стенками. Москва, Издательство «Колос», «Мех. и электр. соц. сельс. хозяйства», 1978. С.24-26.
6. Гасанов Т.Г. и др. Авторское свидетельство №630338 на изобретение «Кротователь». Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 07.07.1978 года.
7. Бейлин Д.Х. Механизация дренажных работ. Перспективы механизации строительства дренажа. Москва, Издательство «Колос», 1975, 256 с.
8. Томин Е.Д., Казаков В.С. Опыт строительства, эксплуатации и ремонта закрытого дренажа на осушаемых землях. Москва, Издательство «Колос», 1970, 114 с.
9. 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.
10. Tomin E.D, Mammaev Z.M, Gumburg G.V «Onexperience in construction of mole drainage systems in areas to be dewatered and irrigated» М., Publishing house "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. pp.22-24.
11. Гасанов Т.Г., Магомедов Г.М. К вопросу борьбы с пучинообразованием на автомобильных дорогах. Махачкала: ДГИНХ, 2013. 154 с.
12. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Соппротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М. Издательство АСВ, 1995. 568 с.
13. Васильев Б.А., Гантман В.Б., Комисаров В.В. и др. Под редакцией Н.Н. Мера «Мелиоративные машины». М., Колос, 1980.
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. Гиляев Г.В. Тракторы и автомобили с основами технической механики: учебное пособие. МГУЛ, 2002. 347 с.
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 констр. и сплошн. 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 сплошн. 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. Ashida Fumihiro, 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, c. 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, c. 111-123.
24. Jain Rajeev, Ramachandra K., Simha K.R.Y. Rotating anisotropic disc of uniform strength, Int. J. Mech., Sci., 1999, 41, №6, c. 639-648.

References:

1. Batmanov E.Z., Gasanov T.G., Guseynov M.R. Modelirovaniye protsessa rezaniya mineral'nykh gruntov passivnym rabochim organom drenoukladchika pri stroitel'stve zakrytogo drenazha. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2018;45 (3):165-174. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-3-165-174. [Batmanov E.Z., Hasanov T.G., Guseynov M.R. Modeling the process of cutting mineral soils by the passive working body of the drainage machine during the construction of a closed drainage. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2018; 45 (3): 165-174. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2018-45-3-165-174. (In Russ)]
2. Maslov B.S. Puti sovershenstvovaniya osushitel'nykh sistem. Trudy VNIIGiM im.A.N. Kostyakova. Tom.52, Moskva, 1972. S.5-21. [Maslov B.S. Ways to improve drainage systems. Proceedings of VNIIGiM named after A.N. Kostyakov. Vol. 52, Moscow, 1972. p pp. 5-21. (In Russ)]
3. Tomin Ye.D. Mekhanizatsiya stroitel'stva zakrytogo drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», «Khlopkovodstvo», 1978. S.36-40. [Tomin E. D. Mechanization of closed drainage construction. Moscow, Publishing House "Kolos", "Khlopkovodstvo", 1978. pp.36-40. (In Russ)]
4. Gasanov T.G. Ustroystvo termicheskogo krotovogo drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», «Khlopkovodstvo», 1978. S.40-41. [Gasanov T.G. Thermal mole drainage device. Moscow, Publishing House "Kolos", "Cotton-growing", 1978. pp.40-41. (In Russ)]
5. 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. Laying of a mole drain with thermally fixed walls. Moscow, Kolos Publishing House, Fur. and electrical social. sels. economy ", 1978. pp.24-26. (In Russ)]
6. Gasanov T.G. i dr. Avtorskoye svidetel'stvo №630338 na izobreteniyе «Krotovatel'». Zaregistrovano v Gosudarstvennom reyestre izobreteniy SSSR 07.07.1978 goda. [Gasanov T.G. and others. Inventor's certificate No. 630338 for the invention "Molecaster". Registered in the State Register of Inventions of the USSR on 07.07.1978. (In Russ)]
7. Beylin D.KH. Mekhanizatsiya drenaznykh rabot. Perspektivy mekhanizatsii stroitel'stva drenazha. Moskva, Izdatel'stvo «Kolos», 1975, 256 s [Beilin D.Kh. Drainage mechanization. Prospects for mechanization of drainage construction. Moscow, Kolos Publishing House, 1975, 256 p. (In Russ)]
8. 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 repair of closed drainage systems on drained lands. Moscow, Kolos Publishing House, 1970, 114 p. (In Russ)]
9. Tomin E.D., Mamayev ZM, Gumburg GV "Onepexperience in construction of mole drainage systems in areas to be dewatered and irrigated" M., Publishing house "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. pp.22- 24.[Tomin E.D., Mamayev Z.M., Gumburg G.V. Experience in the construction of a closed drainage system on drained and irrigated lands. M., Publishing house "Mechanical engineering", "Construction and road machines", 1975. P.22-24.
10. Tomin Ye.D., Mamayev 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.
11. 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 heaving on highways. Makhachkala: DGINKH, 2013. 154 p. (In Russ)]
12. 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 ASV, 1995568 p. (In Russ)]
13. Vasil'yev B.A., Gantman V.B., Komisarov V.V. i dr. Pod redaktsiyey N.N. Mera «Meliorativnyye mashiny». M., Kolos, 1980. [Vasiliev B.A., Gantman V.B., Komisarov V.V. and others. Edited by N.N. Measure "Reclamation machines". M., Kolos, 1980. (In Russ)]
14. Vardanyan G.S. Prikladnaya mekhanika: primeneniye metodov teorii podobiya i analiza razmernostey k modelirovaniyu zadach mekhaniki deformiruyemogo tverdogo tela, Uchebnoye posobiye, - M.: NITS INFRA-M, 2016. 174 s. [Vardanyan G.S. Applied mechanics: application of methods of the theory of similarity and analysis of dimensions to modeling problems of mechanics of a deformable rigid body, Textbook, M.: NITs INFRA-M, 2016. 174 p. (In Russ)]
15. Klimenko N.I. Solving problems on the stress state of anisotropic hollow cylinders rotating inhomogeneous in the circumferential direction. App. fur., Kiev, 1999, 35, No. 12, p. 56-62.
16. Gilayev G.V. Traktory i avtomobili s osnovami tekhnicheskoy mekhaniki: uchebnoye posobiye. MGUL, 2002. 347 s. 17. [Gilaev G.V. Tractors and cars with the basics of technical mechanics: a tutorial. MGUL, 2002. 347 p. (In Russ)]
17. Ryabenkov N.G. O vypolnenii usloviy svobodnoy granitsy tortsa svyazuyushchego v teorii sloistyykh konstruksii//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 for the free boundary of the end face of the binder in the theory of layered structures. 4th Int. Symposium, Din. And Techno. Structural mechanics problems. and continuous media. Yaropolets, 16-18 Feb., 1998, M., 1998, p. 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 matematicheskikh metodov v stroitel'stve, Sb. nauchn. tr. MGSU, Moskva, 1999, s. 169-178. [Frishter L.Yu., Savostyanov V.N. On the representation of a piecewise-homogeneous

- problem of elasticity theory in the form of a sum of homogeneous problems, Problems of mathematics, mechanics of continuous media and the use of mathematical methods in construction, Collection of articles. scientific. tr. MGSU, Moscow, 1999, p. 169-178. (In Russ)]
19. Khesin G.L., Vardanyan G.S., Movila N.I. Modelirovaniye napryazhennogo sostoyaniya konstruktsey iz raznomodul'nykh materialov na vyazkoupругikh modelyakh, Tr. in-ta, MISI, 1975, Vop. 125-126, s. 81-89. [Khesin G.L., Vardanyan G.S., Movila N.I. Modeling the Stress State of Structures Made of Multimodal Materials on Viscoelastic Models, Tr. Institute, MISS, 1975, Issue. 125-126, pp. 81-89. (In Russ)]
 20. Shkelev L.T., Odinets E.A. An approximate method for solving a spatial problem of the theory of elasticity, Kievsk. nat. University of Building and Architect., Kiev, 1999, 8p., Dep. in the State Scientific and Technical Library of Ukraine on July 26, 1999, No. 212-UK. 99.
 21. Andersen Thomas. Control system automatic. 1962, No. 4.
 22. Ashida Fumihito, 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. 2 Sept., 2000, Abstr. Book. Urbana-Champaign (III), IUTAM, 2000, p.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, pp. 111-123.
 24. Jain Rajeev, Ramachandra K., Simha K.R.Y. Rotating anisotropic disc of uniform strength, Int. J. Mech. Sci. 1999, 41, No. 6, pp. 639-648.

Сведения об авторах.

Гасанов Тельман Гамзатович, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и безопасности движения, e-mail: batmanov1978@mail.ru

Батманов Эдвард Загидинович, кандидат технических наук, декан транспортного факультета, e-mail: batmanov1978@mail.ru

Гусейнов Марат Рамизович, старший преподаватель кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, e-mail: Maratdgtu@mail.ru

Нажмудинова Мадина Нуричалавовна, аспирант, кафедра организации и безопасности движения, e-mail: madina.sss@mail.ru

Information about authors.

Telman G. Gasanov, Cand. Sci. (Technical), Assoc.Prof., Department of Organization and Traffic Safety, e-mail: batmanov1978@mail.ru

Edward Z. Batmanov, Cand. Sci. (Technical) Sciences, Dean of the Transport Faculty, e-mail: batmanov1978@mail.ru

Marat R. Guseynov, Senior Lecturer, Department of Highways, Foundations and Foundations, e-mail: Maratdgtu@mail.ru

Madina N. Nazhmudinova, Postgraduate student, Department of Organization and Traffic Safety, e-mail: madina.sss@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.11.2020.

Принята в печать 19.11.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.11.2020.

Accepted for publication 19.11.2020.