УДК 631.372:629.114.2
ГРНТИ 68.85

Щитов С.В., д-р техн. наук, профессор;
Кузнецов Е.Е.,канд. техн. наук, доцент;
Панова Е.В., канд. техн. наук, доцент;
Шарипова Т.В., канд. техн. наук, доцент;
Кузин В.Ф., д-р с.-х. наук, профессор, член.-корр.РАН,
Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск
E-mail: ji.tor@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ТРАКТОРНО- ТРАНСПОРТНЫХ АГРЕГАТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЖКОЛЕСНОГО РЕГУЛЯТОРА

Колёсные энергетические средства являются наиболее востребованными в современной технологии растениеводства. Их значительный технический ресурс, высокая энергонасыщенность и адаптивность, долговечность силовых установок и ходовой системы позволяют успешно эксплуатировать колёсные тракторы в составе тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) во всех региональных зонах и климатических поясах Российской Федерации. Однако невысокая устойчивость эластичных колёсных движителей к внешнему воздействию при выполнении сельскохозяйственных работ может привести к долговременной остановке, увеличению времени выполнения сельскохозяйственных операций, безвозвратным потерям груза, дорожно-транспортным происшествиям, а при применении дополнительных средств эвакуация энергетического средства с обрабатываемых полей способна повлечь изменения структуры почв за счёт уплотнения ходовыми системами и снижение урожайности. Решить данную задачу предлагается применением в ходовой системе колёсных энергетических средств устройств, способных перераспределить сцепной вес в зависимости от состояния колёсного движителя и приходящейся на него вертикальной нагрузки, что повысит скорость выполнения сельскохозяйственных операций, уменьшит техногенное воздействие движителей на почву без снижения производительности и эффективности применения колёсной техники. В представленной статье рассматривается вопрос математического обоснования перераспределения сцепного веса между движителями одной оси в ходовой системе ТТА с использованием прицепа с активным ведущим мостом за счёт работы устройства межколёсного регулятора собственной нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО, КОЛЁСНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ, ПОВРЕЖДЕНИЕ, УСТРОЙСТВО, ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

UDC 631.372:629.114.2

Shchitov S. V., Dr Tech. Sci., Professor;
Kuznetsov E.E., Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
Panova E. V., Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
Sharipova T.V., Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
Kuzin V.F., Dr Agr. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAAS,
Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk
E-mail: ji.tor@mail.ru

ENHANCING TRACTOR'S TOWING COUPLER PROPERTIES BY MEANS OF INTER-WHEEL REGULATOR

Wheeled agricultural machinery (tractors, self-propelled chassis, vehicles) are the most popular mechanisms in modern crop production technologies. Their considerable technical resources, high energy content and adaptability, durability, power and running system are the

very qualities that allow wheeled tractors to be used successfully in all regional areas and climatic zones of the Russian Federation. However low stability of elastic wheel movers to external shocks in the course agricultural work can lead to a long-term stop of farm operations, irrevocable loss of cargo, road traffic accidents, and moreover application of additional means of evacuation of the vehicles from the fields can result in changes of soil structure and reduced crop yields due to compaction of soil. To solve this task it is proposed to use special devices in the running gear of wheeled agricultural machinery that are able to redistribute operating weight depending on the state of the wheeled mover and mover vertical load in order to speed up agricultural operations, reduce technogenic influence on soil without reducing performance and efficiency of wheeled machinery. This article presents mathematical substantiation of coupling weight redistribution among movers of one axis in the running gear of tractor with trailer, having active driving axle, by means of special device - inter-wheel regulator for correction the load due to own weight.

KEYWORDS: WHEELED AGRICULTURAL MACHINERY, WHEELED MOVER, DAMAGE, DEVICE, WEIGHT REDISTRIBUTION, PERFORMANCE, EFFECTIVENESS

На современном этапе развития общества без применения новой техники невозможно и соблюдение передовых ресурсосберегающих технологий выращивания сельхозпродукции, так как выполнение транспортных операций и сельскохозяйственных работ с использованием энергетических средств в составе тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) является основным этапом в процессе производства.

От производительности и эффективности эксплуатации энергетических средств, в частности колёсных, в последнее время получивших наибольшее распространение в организациях-сельхозпроизводителях как наименее затратных и наиболее выгодных в использовании, зависит не только себестоимость единицы произведённой продукции, но и финансово-хозяйственная деятельность и экономическая долговечность предприятия.

Однако в процессе выполнения сельскохозяйственных работ нередко возникают ситуации, когда колёсное энергетическое средство в составе ТТА вынужденно простаивает при выполнении операций или попадает в дорожно-транспортное происшествие вследствие потери перекатывающей способности колёсными движителями, произошедшей вследствие невысокой устойчивости эластичных колёс к внешнему воздействию.

При этом, как правило, возникает кинематическое несоответствие тяговых усилий в передающих элементах трансмиссии и ведущих мостов энергетического средства, способное характеризоваться как мгновенным усилением с выходом свободной мощности за пределы силового контура, так и замедлением крутящих моментов, что может, как следствие действующих на него сторонних сил и ускорений, привести как к практически моментальной остановке энергетического средства, так и к его переворачиванию с разрушением несущей конструкции, изменению работоспособности деталей или геометрических параметров трансмиссии, что влечёт долговременную остановку, увеличение времени выполнения сельскохозяйственных операций, возможные безвозвратные потери груза и дорожно-транспортные происшествия. Причём, при применении дополнительных средств эвакуация энергетического средства и буксируемого агрегата с обрабатываемых полей способна повлечь изменения структуры почв за счёт значительного уплотнения ходовыми системами и снижение урожайности.

Следовательно, возможность продолжения движения колёсного энергетического средства или ТТА, геометрия или конструкция движителей которого подверглась внезапному изменению в движении, является немаловажной задачей повышения производительности, эффективности и безопасности эксплуатации колёсной техники.

Математически рассмотрим причинно-следственные связи совершения события, изменившего геометрические параметры движителя, нанесённого этим событием ущерба энергетическому средству и параметры возможных последствий. При этом

временной фактор, характеризующий событие и последствия этого события, является основным звеном в системе нейтрализации последствий.

Исходя из условия, где

$$T_{пс} \rightarrow max, \quad (1)$$

$$T_{ср} \rightarrow min, \quad (2)$$

Этот процесс может быть описан выражением

$$T_с \rightarrow T_{пс} > T_с \rightarrow T_{ср}, \quad (3)$$

или $$T_с + T_{пс} > T_с + T_{ср}, \quad (4)$$

при $$T_{пс} > T_{ср}, \quad (5)$$

где $T_с$ – время события;

$T_{пс}$ – время наступления последствий события, влекущих остановку энергетического средства;

$T_{ср}$ – время взаимодействия устройств, предназначенных для нейтрализации возникших последствий изменения параметров колёсного движителя.

Полученные эмпирические зависимости показывают, что тяжесть и время наступления последствий события имеет обратную функциональную зависимость от времени взаимодействия устройств и конструкций, направленных на нейтрализацию последствий изменения колёсного движителя в движении без материального ущерба.

Предложенные параметры также указывают, что этим условиям может соответствовать только встраиваемое в ходовую систему дополнительное устройство, предназначенное для перераспределения сцепного веса в ходовой системе энергетического средства или ТТА при изменении параметров движителя.

Анализ существующих конструкций подтверждает отсутствие встраиваемых в ходовую систему устройств, направленных на нейтрализацию вышеуказанных последствий при движении энергетического средства или ТТА, соответственно разработка и внедрение таких устройств является перспективным направлением развития технических средств механизации.

Решить данную задачу предлагается применением в ходовой системе колёсных энергетических средств устройств, способных перераспределить сцепной вес в зависимости от состояния колёсного движителя и приходящейся на него вертикальной нагрузки, что повысит скорость выполнения сельскохозяйственных операций, уменьшит техногенное воздействие движителей на почву без снижения производительности и эффективности применения колёсной техники [2, 3, 4].

Предлагаемое устройство – межколёсный регулятор собственной нагрузки энергетического средства (рис.1), является пассивной встраиваемой конструкцией, соответствующей всем параметрам устройства, направленного на нейтрализацию последствий изменения параметров колёсного движителя ТТА в движении [6].

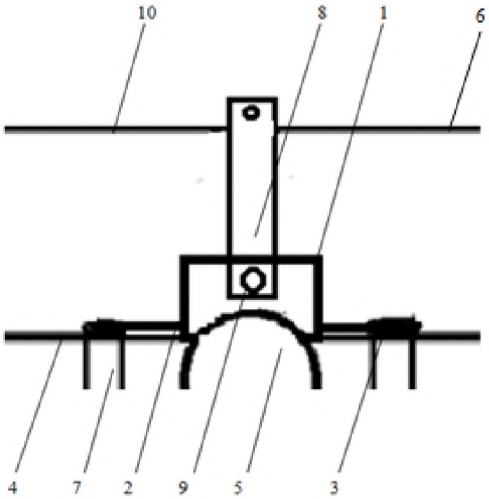

Рис. 1.Межколёсный регулятор собственной нагрузки энергетического средства

(1- несущая конструкция, 2- фигурная П-образная тяга, 3- горизонтальные окончания, 4- верхняя часть чулка моста, 5-мост, 6-энергетическое средство, 7-болтовые стремянки, 8- опорный рычаг, 9-шарнир, 10-траверса рамы)

Проанализируем работу моста колёсного ТТА с установленным межколёсным регулятором собственной нагрузки. Для этого рассмотрим равновесие моста энергетического средства на примере прицепа с активным ведущим мостом с равномерно распределённым грузом в кузове при движении его по ровной дороге (рис.2) и при изменении параметров колеса, которое обозначим вертикальным смещением движителя при вертикальном смещении (опускании в неровности дорожного покрытия) (рис.3) как равномерно нагруженную балку.

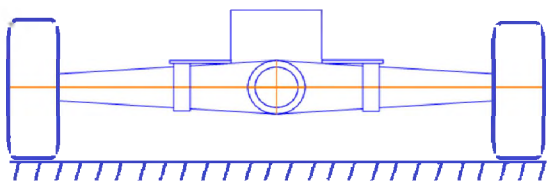

Рис. 2. Активный ведущий мост прицепа ТТА с установленным регулятором собственной нагрузки

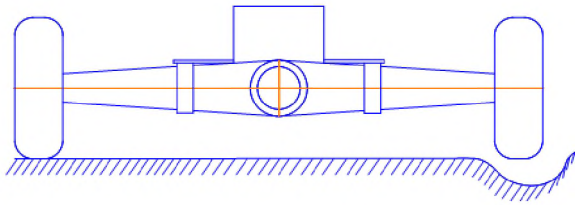

Рис. 3. Активный ведущий мост прицепа ТТА с установленным регулятором собственной нагрузки при вертикальном смещении движителя

Для этого отбросим связи, заменим их реакциями и покажем все силы действующие на мост (рис.4).

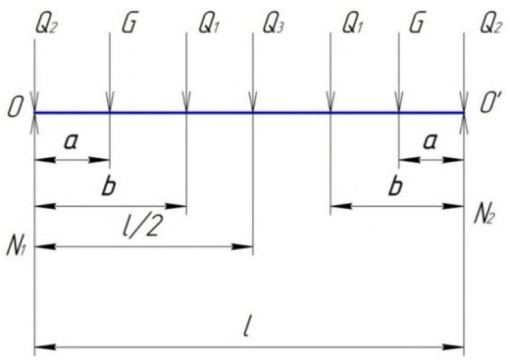

Рис. 4. Схема сил, действующих на мост при движении по ровной поверхности без учёта действия регулятора собственной нагрузки

Примем обозначения: G - действующая сила тяжести перевозимого груза, Н., N_1 и N_2 – реакция дороги, Н., Q_1, Q_2, Q_3– вес основных частей (механизмов) моста, Н., l – общая длина моста, м., a и b –расстояния от движителя до точек приложения нагрузки, м.

Составим уравнения равновесия и определим реакции дороги (N_1и N_2) на мост при равномерном движении по ровной дороге (рис.2).

Уравнение равновесия при движении по ровной поверхности принимает вид в случае, когда

Сумма моментов всех сил относительно точки 0, при $\Sigma M_o = 0$

$$-Ga - G(l-a) - Q_1 \cdot b - Q_1(l-b) - -Q_3\frac{l}{2} - Q_2 \cdot l + N_2 l = 0, \quad (6)$$

$$N_2 = \frac{Ga + Gl - Ga + Q_1 b}{l} + + \frac{Q_1 l - Q_1 b + Q_3\frac{l}{2} + Q_2 l}{l}, \quad (7)$$

$$N_2 = G + Q_1 + Q_2 + 2_3 \cdot 0.5, \quad (8)$$

Сумма моментов всех сил относительно точки 0', при $\Sigma M_{0'} = 0$

$$-N_1 l + Q_2 l + G(l-a) + Q_1(l-b) + +Q_3 \cdot \frac{l}{2} + Q_1 l + Ga = 0, \quad (9)$$

$$N_1 = \frac{Q_2 l + G \cdot l - Ga + Q_1 l}{l} - -\frac{Q_1 b + Q_3\frac{l}{2} + Q_1 b + Ga}{l}, \quad (10)$$

$$N_1 = G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3 \quad (11)$$

Составим уравнение равновесия моста при вертикальном смещении одного колесного движителя (рис.3).

Реакция поверхности провалившегося движителя будет отсутствовать и начнёт действовать межколёсный регулятор нагрузки. Соответственно происхдит перераспределение весовой нагрузки с проваливающегося (вертикально-смещаемого) движителя через опорный рычаг на раму прицепа (энергетического средства) и противолежащий движитель моста. Действие межколёсного регулятора на мост выражается реакциями R_1иR_2. d – расстояние между точками крепления регулятора собственной нагрузки, м, c – расстояние от точки крепления регулятора собственной нагрузки до движителя, м.

Для математического обоснования процессов перераспределения нагрузок составим схему сил, действующих на мост с учётом действия регулятора собственной нагрузки (рис.5).

Составим уравнения равновесия и определим действующие реакции.

Сумма моментов всех сил относительно точки 0 $\Sigma M_0 = 0$

$$-Ga - Q_1 \cdot b + R_1 \cdot ''' - Q_3\frac{l}{2} + R_2(l-c) - Q_1 \cdot (l-b) - G(l-a) - Q_2 l = 0, \quad (12)$$

$$-Ga - Gl + Ga - Q_1 b - Q_1 l + Q_1 b + R_1 c + R_2(l - c) - Q_3\frac{l}{2} - Q_2 l = 0, \quad (13)$$

$$R_1 c + R_2(l-c) - Gl - Q_1 l - -Q_2 l - Q_3\frac{l}{2} = 0, \quad (14)$$

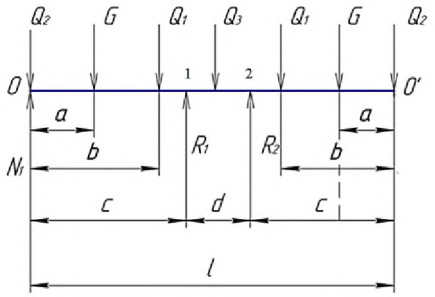

Рис. 5. Схема сил, действующих на мост с учётом действия регулятора собственной нагрузки

где d –расстояние между точками крепления регулятора собственной нагрузки, м, c –расстояние от точки крепления регулятора собственной нагрузки до движителя, м

Сумма моментов всех сил относительно точки 1 $\Sigma M_1 = 0$

$$-N_1 \cdot c + Q_2 \cdot C + G(c-a) + \\ +Q_1 \cdot (c-b) - Q_3\left(\frac{l}{2} - c\right) + \\ +R_2 d - Q_1(l-c-b) - \\ -G \cdot (l-c-a) - Q_2(l-c) = 0, \quad (15)$$

$$-N_1 c + Q_2 \cdot c - Q_2 l + Q_2 c + Gc - Ga - Gl + \\ Gc + Ga + Q_1 < -Q_1 b - -Q_1 l + Q_1 c + Q_1 b - \\ Q_3\left(\frac{l}{2} - c\right) + R_2 d = 0, \quad (16)$$

$$-N_1 c + 2Q_2 \cdot c - Q_2 l + 2Gc - Gl + \\ +2Q_1 c - Q_1 l - Q_3 \frac{l}{2} + Q_3 c + R_2 d = 0, \quad (17)$$

$$-N_1 c + 2Q_2 \cdot c - Q_2 l + 2Gc - Gl + \\ +2Q_1 c - Q_1 l - Q_3 \frac{l}{2} + Q_3 c + R_2 d = 0, \quad (18)$$

Сумма проекций всех сил на ось У $\Sigma Fy = 0$

$$N_1 - 2Q_2 - 2G - 2Q_1 - Q_3 + \\ + \text{ʎ}_1 + R_2 = 0, \quad (19)$$

$$R_1 = 2Q_2 + 2G + 2Q_1 + Q_3 - N_1 - R_2, \quad (20)$$

$$2Q_2 \cdot c + 2G \cdot c + 2Q_1 \cdot c + Q_3 \cdot c - \\ -N_1 \cdot c - R_2 c + R_2 l - R_2 c - Gl - \\ -Q_1 l - Q_2 l - Q_3 \frac{l}{2} = 0, \quad (21)$$

$$-N_1 c = -2Q_2 c - 2Gc - 2Q_1 c - Q_3 \cdot c + 2R_2 c - \\ R_2 l + Gl + Q_1 l + Q_2 l + \text{ϑ}_3 \frac{l}{2}, \quad (22)$$

$$-2Q_2 c - 2Gc - 2Q_1 c - Q_3 c + 2R_2 c - \\ -R_2 l + Gl + Q_1 l + Q_2 l + Q_3 \frac{l}{2} + \\ +2Q_2 c - Q_2 l + 2Gc - Gl + \\ + 2Q_1 c - Q_1 l - Q_3 \frac{l}{2} + Q_3 c + R_2 d = 0, \quad (23)$$

При решении уравнений (14,18,19) получаем:

При $R_2 = 0$

$$R_1 = \frac{(G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (24)$$

$$N_1 = \frac{2Q_2 \cdot c + 2G \cdot c + 2Q_1 \cdot c}{c} + \\ + \frac{Q_3 \cdot c - G \cdot l - Q_1 \cdot l - Q_2 \cdot l - Q_3 \frac{l}{2}}{c}, \quad (25)$$

$$N_1 = 2Q_1 + 2Q_2 + 2G + Q_3 - \frac{(G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (26)$$

$$N_1 = 2(Q_1 + Q_2 + G + 0{,}5Q_3) - \\ - \frac{(G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (27)$$

$$N_1 = \left(2 - \frac{l}{2}\right)(Q_1 + Q_2 + G + 0{,}5Q_3), \quad (28)$$

Анализ формул (11), (24), (27) показывает, что происходит перераспределение собственной нагрузки со смещающегося движителя на противолежащие движитель или раму прицепа (энергетического средства).

Так как $l = 2c + d$, (29)

то $c = \frac{l-d}{2} = 0{,}5(l-d)$, (30)

тогда

$$R_1 = \frac{(G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3)l}{0{,}5(l-d)}, \quad (31)$$

или

$$R_1 = \frac{(G + Q_1 + Q_2 + 0{,}5Q_3)2l}{l-d}, \quad (32)$$

Рассмотрим перемещение оси моста (рис.6) при вертикальном смещении движителя.

Учитывая подобие треугольников, получаем

$$\frac{l}{y} = \frac{l}{2h}, \quad (33)$$

то $y = 2h$, (34)

следовательно, $l = y \cot \alpha$, (35)

Расстояние y равно максимальному смещению вертикально-смещающейся части моста.

Для определения прогиба (рис.7) воспользуемся универсальным уравнением прогибов или изогнутой оси [5].

$$EYy = EYy_0 + EY\text{и}_0 x \pm \\ \pm\Sigma\frac{M_0(x-a)^2}{2} \pm \Sigma\frac{F(x-b)^3}{3} \pm \\ \pm\Sigma\frac{g(x-a)^4}{4}, \quad (36)$$

где E – модуль упругости первого рода, Па;

Y – момент инерции поперечного сечения блока относительно оси Z,м^4;

a,b,c – расстояние от начала координат до нагрузки M_0, F, gсоответственно, м.

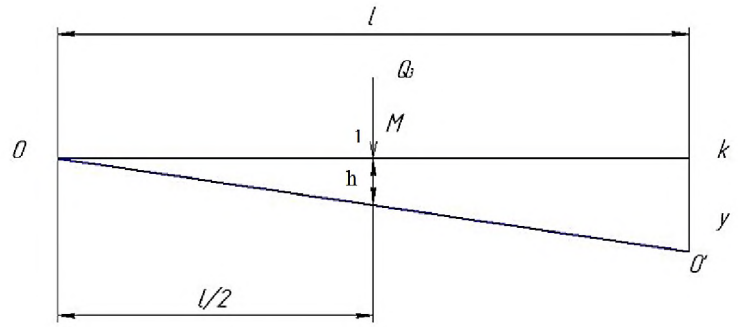

Рис. 6. Схема вертикального смещения движителя,
где М-точка приложения перераспределяемой нагрузки, h – расстояние минимального смещения центра моста, м

В точках 0 и 1 прогибы равны нулю.

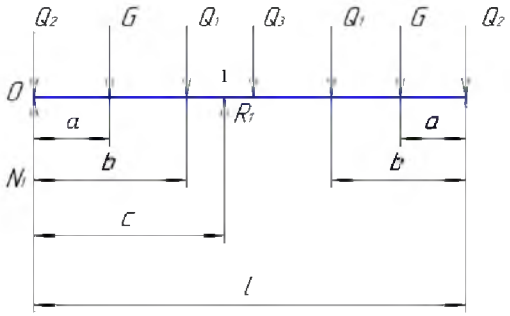

Рис. 7. Схема сил, действующих на мост при вертикальном смещении движителя и действии регулятора собственной нагрузки

Тогда получаем

$$EYy = EYy_0 + EY\text{и}_0 x - \frac{N_1(x-0)^3}{6} - \frac{Q_2(x-0)^3}{6} - \frac{G(x-a)^3}{6} - \frac{Q_1(x-b)^3}{6} - \frac{R_1(x-c)^3}{6} - \frac{Q_3\left(x-\frac{l}{2}\right)^3}{6} - \frac{Q_1\left(x-(l-b)\right)^3}{6} - \frac{G\left(x-(l-a)\right)^3}{6}, \quad (37)$$

При $y_0 = 0$ получаем в точке 1

$$EYy_1 = 0 = EY\text{и}_0 \cdot \text{c} + \frac{N_1 \cdot \text{c}^3}{6} - \frac{Q_2 \cdot \text{c}^3}{6} - \frac{G(\text{c}-a)^3}{6} - \frac{Q_1(\text{c}-b)^3}{6}, \quad (38)$$

$$EY\text{и}_0 = -\frac{N_1 \cdot \text{c}^2}{6} + \frac{Q_2 \cdot \text{c}^2}{6} + \frac{G(\text{c}-a)^3}{6\text{c}} + \frac{Q_1(\text{c}-b)^3}{6\text{c}}, \quad (39)$$

При $x = \frac{l}{2}$

$$EYy_{\frac{l}{2}} = \left(-\frac{N_1 \cdot \text{c}^2}{6} + \frac{Q_2 \cdot \text{c}^2}{6} + \frac{G(\text{c}-a)^3}{6\text{c}} + \frac{Q_1(\text{c}-b)^3}{6\text{c}}\right)\frac{l}{2} + \frac{N_1 \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{6} + \frac{Q_2 \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{6} + \frac{G\left(\frac{l}{2}-a\right)^3}{6} + \frac{Q_1\left(\frac{l}{2}-b\right)^3}{6} + \frac{R_1\left(\frac{l}{2}-c\right)^3}{6}, \quad (40)$$

где N_1 и R_1 в формулах (37-40) имеют следующие значения:

$$N_1 = 2Q_1 + 2Q_2 + 2G + Q_3 - \frac{(G+Q_1+Q_2+0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (41)$$

$$R_1 = \frac{(G+Q_1+Q_2+0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (42)$$

Действующие силы G, Q_1, Q_2 обозначим как G_n - приведённая сила (рис.8), соответственно уравнение прогиба принимает вид

$$EYy = EYy_0 + EY\text{и}_0 x - \frac{N_1(x-0)^3}{6} - \frac{G_n(x-a)^3}{6}, \quad (43)$$

При $x = c$

$$\sim Yy_1 = 0 = EY\text{и}_0 \cdot \text{c} + \frac{N_1 \cdot \text{c}^3}{6} - \frac{G_n \cdot (\text{c}-a)^3}{6}, \quad (44)$$

$$EY\text{и}_0 = \frac{-N_1 c^2}{6} + \frac{G_n \cdot (\text{c}-a)^3}{6c}, \quad (45)$$

$$EYy_1 = EY\text{и}_0 \cdot \frac{l}{2} + \frac{N_1 \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{6} - \frac{G_n\left(\frac{l}{2}-a\right)^3}{6} + \frac{R_1\left(\frac{l}{2}-c\right)^3}{6}, \quad (46)$$

$$EYy_1 = \frac{-N_1 c^2 l}{6 \cdot 2} + \frac{G_n \cdot (\text{c}-a)^3}{6 \cdot c \cdot 2} + \frac{N_1 l^2}{6 \cdot 8} - \frac{G_n \cdot (\text{c}-a)^3}{6} + \frac{R_1\left(\frac{l}{2}-c\right)^3}{6}, \quad (47)$$

$$N_1 = 2G_n + Q_3 - \frac{(G_n + 0{,}5Q_3)l}{c} = 2G_n + Q_3 - \frac{(2G_n + Q_3)l}{2c} = (2G_n + Q_3)\left(1 - \frac{l}{2c}\right), \quad (48)$$

$$R_1 = \frac{(G_n + 0{,}5Q_3)l}{c}, \quad (49)$$

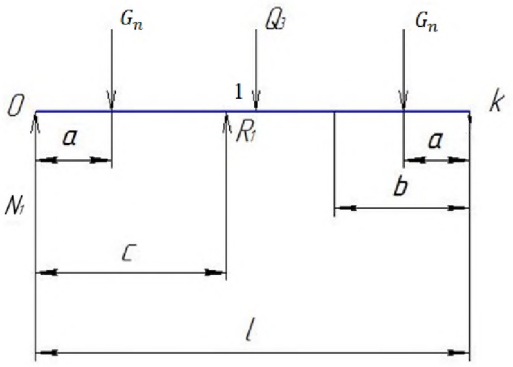

Рис. 8. Схема сил, действующих на мост при действии регулятора собственной нагрузки и выравнивании движителя

При $x = l$ получаем

$$EYy_k = EYи_0 \cdot l + \frac{N_1 \cdot l^3}{6} - \frac{G_n(l-a)^3}{6} + \frac{R_1(l-c)^3}{6} - \frac{Q_3\left(x - \frac{l}{2}\right)^3}{6} - \frac{G_n\left(l-(l-a)\right)^3}{6}, \quad (50)$$

$$EYy_k = \frac{-N_1 c^2}{6} \cdot l + \frac{G_n(c-a)^3}{c \cdot 6} \cdot l + \frac{N_1 \cdot l^3}{6} - \frac{G_n(l-a)^3}{6} + \frac{R_1(l-c)^3}{6} - \frac{Q_3\left(\frac{l}{2}\right)^3}{6} - \frac{G_n(a)^3}{6}, \quad (51)$$

Учитывая, что при данной жёсткости конструкции моста значения прогиба от всех действующих сил на мост минимальны, при вертикальном смещении его можно не учитывать. [1, 5]

Для более наглядного представления величин перераспределения веса со смещаемой части моста (R_1) при действии регулятора собственной нагрузки в виде зависимостей от расстояния крепления регулятора (d) от центра приложения веса Q_3, высоты смещения моста (y) составлена комбинированная модель детерминированного факторного анализа (рис.9, рис.10).

$$R_1(d,y) = 0{,}006 \cdot 10^6 d^2 y^3 + 0{,}01 \cdot 10^6 dy^3 + 0.02 \cdot 10^6 y^3 - 0{,}0021 \cdot 10^6 d^2 y^2 - 0.0035 \cdot 10^6 dy^2 - 0.007 \cdot 10^6 y^2 + {,}00003 \cdot 10^6 d^2 y + 0.00005 \cdot 10^6 dy + 0.0001 \cdot 10^6 y + 0{,}0003 \cdot 10^6 d^2 + 0.0005 \cdot 10^6 d + 0.001 \cdot 10^6 \quad (52)$$

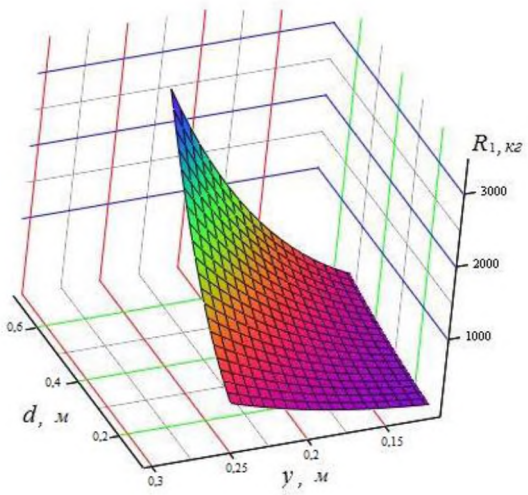

Рис. 9. Модель зависимости перераспределения веса со смещаемой части моста (R_1)

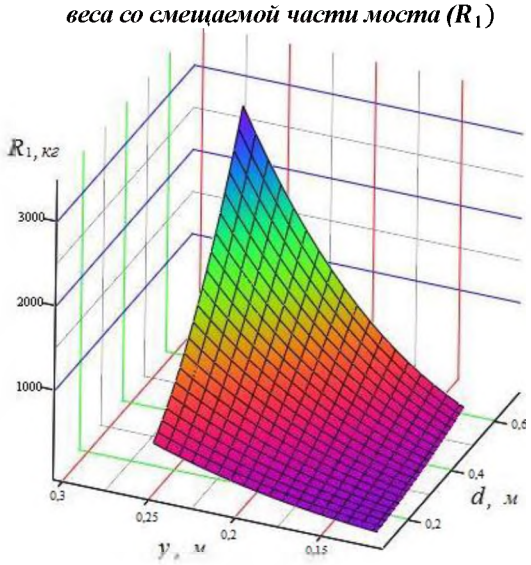

Рис. 10. Модель зависимости перераспределения веса со смещаемой части моста (R_1)

В результате исследований совместного влияния зависимостей от расстояния крепления регулятора (d) от центра приложения веса Q_3 и высоты смещения моста (y) установлено, что на изменение реакции гладкой поверхности R_1 наибольшее воздействие оказывают обе изменяемые величины. Реакция гладкой поверхности R_1 максимальна при достижении $y = 0{,}27$ м., d =0,6 м.

Полученные зависимости подтверждают выполнение условий (1-5) и позволяют теоретически обосновать процесс перераспределения нагрузки с вертикально-смещаемой части моста на противоположный движитель и раму прицепа (энергетического средства), подтверждая, что при внедрении в ходовую систему энергетического

средства предлагаемого регулятора собственной нагрузки данное устройство способно увеличить опорную проходимость, скорость передвижения колёсного энергетического средства в составе ТТА при выполнении сельскохозяйственных работ, повысить безопасность движения, снизить вероятность потери управления и создания аварийной ситуации, энергетические и временные потери, позволяя осуществить самостоятельное движение до пункта проведения ремонта или замены движителя, что повысит производительность и общую эффективность эксплуатации колёсного энергетического средства.

Список литературы

1. Беляев, Н.М.Сопротивление материалов: учебник / Н. М. Беляев. - М.: Наука, 1976.- 608 с.

2. Кузнецов, Е.Е. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4: монография/Е.Е.Кузнецов [и др.]. - ДальГАУ- Благовещенск, 2013. -153 с.

3. Кузнецов, Е.Е.Расширение функциональных возможностей тракторов класса 1,4/ Е.Е.Кузнецов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. - 2016.- №1(37). - С.64-70.

4. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колёсных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01., Благовещенск, 2009. - 325 с.

5. Яблонский, А.А. Сборник задач для курсовых работ по теоретической механике / А.А. Яблонский. - М.: Высшая школа, 1982. - 382 с.

6. Межколёсный регулятор собственной нагрузки энергетического средства

/Щитов С.В, Кузнецов Е.Е.// Пат. на полезную модель №158328 Рос. Федерация, заявитель и патентообладатель Дальневосточный гос. агр. университет. заявл. 05.05.2014, зарегистрирована 05.05.2014, опубл. 10.09.2014, Бюл. №25. - 10 с.

Reference

1. Belyaev, N.M. Soprotivlenie materialov: uchebnik (Resistance of Materials: text-book), M., Nauka, 1976,608 p.

2. Kuznetsov, E.E. Ispol'zovanie mnogoosnykh energeticheskikh sredstv klassa 1,4: monografiya (Use of Pluriaxial Wheeled Agricultural Machinery (tractors, self-propelled chassis, vehicles), Class 1,4: monograph), E.E. Kuznetsov [i dr.], Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2013,153 p.

3. Kuznetsov, E.E.Rasshirenie funktsional'nykh vozmozhnostei traktorov klassa 1,4 (Expansion of Functionality of Tractors, Class 1,4), E.E. Kuznetsov [i dr.], *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2016, No (37), PP.64-70.

4. Shchitov, S.V. Puti povysheniya agrotekhnicheskoi prokhodimosti kolesnykh traktorov v tekhnologii vozdelyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur Dal'nego Vostoka (Ways of Enhancing Wheeled Tractors Flotation in the Technology of Crops Cultivation in the Far East), dis. d-ra tekhn. nauk: 05.20.01., Blagoveshchensk, 2009, 325 p.

5. Yablonskii, A.A. Sbornik zadach dlya kursovykh rabot po teoreticheskoi mekhanike (Book of Problems for Term Papers on Engineering Mechanics), A.A. Yablonskii, M.: Vysshaya shkola, 1982, 382 p.

6. Mezhkolesnyi regulyator sobstvennoi nagruzki energeticheskogo sredstva (Inter-Wheel Regulator for the Load due to Own Weight of the Machine),Shchitov S.V, Kuznetsov E. E., Pat. na poleznuyu model' No 158328 Ros. Federatsiya, zayavitel' i patentoobladatel' Dal'nevostochnyi gos. agr. universitet. zayavl. 05.05.2014, zaregistrirovana 05.05.2014, opubl. 10.09.2014, Byul .No 25, 10 p.