Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.372:629.114.2

Обоснование воздействия динамических параметров фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора в движении

Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Бурмага А.В., Самуйло В.В.

Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

Особенностью Амурской области является высокая степень переувлажнения несущего почвенного слоя в период сбора урожая. В связи с этим возникает необходимость снижения влияния осадков на плодородный слой, при этом одними из эффективных способов являются способы улучшения водопроницаемости, снижения эффекта переуплотнения почв и формирования плужной подошвы, что позволит повысить тягово-сцепные свойства средств механизации, сохранить плодородие, повысить урожайность и увеличить валовые сборы сельскохозяйственных культур.

В статье приводятся теоретические исследования по обоснованию параметров воздействия на конструкцию трактора и почвенный фон перспективного устройства-фронтального прокалывателя-щелереза, предназначенного для снижения влияния природно-климатических и техногенных факторов при проведении полевых работ.

Ключевые слова: ФРОНТАЛЬНЫЙ ПРОКАЛЫВАТЕЛЬ-ЩЕЛЕРЕЗ, ПОЛУРАМНЫЙ ТРАКТОР, ДВИЖИТЕЛЬ, ПОВЕРХНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, СИЛОВЫЕ РЕАКЦИИ

Почвенные запасы сельскохозяйственных земель Амурской области представлены как лугово-черноземовидными, так и бурыми лесными почвами с высокой степенью содержания глинозёмов, склонных к накоплению поверхностной влаги. Учитывая, что природно-климатические особенности региона позволяют даже в южной сельскохозяйственной зоне проводить весеннюю почвообработку не раньше середины-конца апреля, а посев – в первых числах-середине мая, при этом сроки обработки-посева организациями выби-

раются индивидуально в зависимости от степени оттаивания и глубины прогрева плодородного слоя, сельхозпроизводителям необходимо начать и завершить эти операции в кратчайшие сроки [1, 2].

В этот период подстилающий слой в виде мерзлоты и верхний водонасыщенный почвенный слой не позволяют использовать энергонасыщенные средства механизации с высоким удельным давлением колёсных движителей на почву [3, 4].

В целях установления сроков начала почвообработки 28 апреля 2021 года были проведены эксперименты по проверке влажности и степени прогрева плодородного слоя на поле, в период 2020 года используемом для выращивания бобовых культур (рис. 1), показавшие, что надпочвенная (относительная) влажность воздуха составила 34,6% при температуре 14,4^{0}С, усреднённая температура почвенного слоя на глубине 0,1 м – 4,9^{0}С при почвенной влажности 20%. Таким образом, согласно агротехническим требованиям, колёсные средства механизации не имеют возможности проводить почвенную обработку в определённых условиях, что затягивает сроки проведения работ вследствие наличия слабой несущей способности поверхности движения.

Рис. 1. Фрагмент эксперимента по проверке влажности и степени прогрева плодородного слоя

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

В связи с этим возникает необходимость снижения влияния осадков на плодородный слой, при этом одними из эффективных способов являются способы улучшения водопроницаемости, снижения эффекта переуплотнения почв и формирования плужной подошвы, что позволит повысить тягово-сцепные свойства средств механизации, сохранить плодородие, повысить урожайность и увеличить валовые сборы сельскохозяйственных культур.

На основании анализа работ авторов [5, 6, 7], аналитических исследований и проведённого патентного поиска была предложена конструкция фронтального прокалывателя-щелереза, конструкция которого рассмотрена в работах [8, 9].

Использование устройства предлагаемой конструкции, обладающего высокой надёжностью, низкой себестоимостью, материалоёмкостью и энергоёмкостью, удобством в обслуживании и эксплуатации, при достаточно несложной конструкции и простоте изготовления фронтального прокалывателя-щелереза позволит улучшить водопроницаемость плодородного слоя за счёт его прокалывания, снизит влияние ходовой системы колёсного полурамного трактора на обрабатываемые почвы в целях сохранения плодородия и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, повысит производительность трактора за счёт его использования в составе комбинированного посевно-разуплотняющего агрегата.

В целях теоретического обоснования параметров воздействия фронтального прокалывателя-щелереза (далее прокалыватель) на конструкцию трактора и поверхность движения, выявления его технологических и ходовых характеристик необходимо провести расчет реакций трактора с прокалывателем, для чего используем известные методы теории равновесия и определяемые зависимости согласно схемам, предлагаемых на рис. 2 и 3.

Рассматриваемая конструкция состоит из основной части, собственно трактора, включающей переднюю пару колес, из прокалывателя D с соединительной рамой AD и из опорной части, включающей заднюю пару колес. Прокалыватель соединяется с рамой шарниром D (опора типа цилиндрический шарнир), рама прокалывателя соединяется с основной частью шарниром A (опора типа цилиндрический шарнир) и вертикальной пневматической подвеской B (опора типа тонкий стержень). Основная часть соединяется с опорной частью устройством Q, допускающим их взаимный разворот вокруг вертикаль-

ной оси, а также относительное изменение бокового крена каждой части вокруг продольной горизонтальной оси.

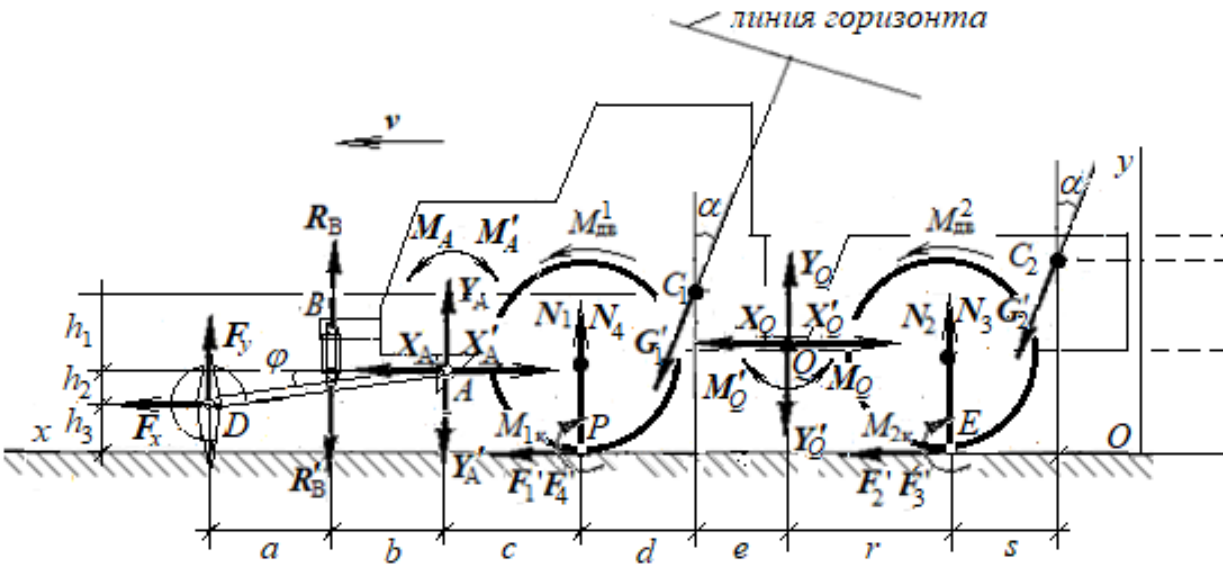

Рис. 2. Схема сил, действующих на трактор и прокалыватель в продольной плоскости *Oxy*

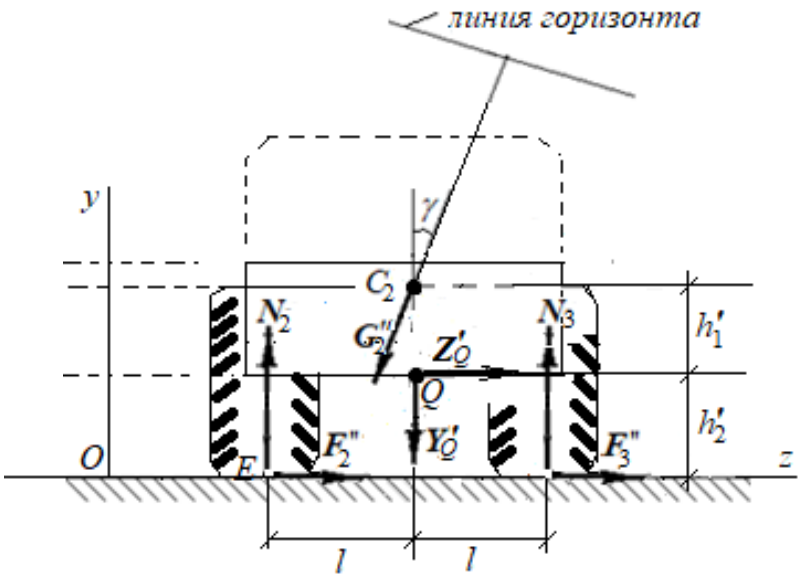

Рис. 3. Схема сил, действующих на трактор и прокалыватель *Oyz* для задней пары колёс

Все расчеты проводим для прямого рабочего хода трактора в направлении ***v***.

Для большей ясности изображения угол α прямого подъема в направлении ***v*** и угол γ бокового крена учитываем изменением наклона линии горизонта, углы считаем одина-

ковыми для обеих частей трактора (рис. 2, 3); C_1, C_2 – центры тяжести отдельных частей (полурам) трактора, точки приложения сил тяжести $\boldsymbol{G}_1$, $\boldsymbol{G}_2$ при любых углах наклона α и γ (при спуске вниз с горы α > 0, при подъеме вверх в гору α < 0; при перемещении по поверхности с уклоном влево γ > 0 , с уклоном вправо – γ < 0);

$\boldsymbol{G}'_j$ $(j=1,2)$ – проекции сил тяжести на продольную плоскость,Н; $\boldsymbol{G}''_j$ - проекции сил тяжести на поперечную плоскость, Н. Принимаем

$$G'_j = \frac{G_j/\cos\alpha}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\gamma}}; \quad G''_j = \frac{G_j/\cos\gamma}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\gamma}} \quad (j=1,2).$$

A, *B* – опоры рамы прокалывателя: опора *A* – шарнирно неподвижная, реакция включает две неизвестные составляющие $\boldsymbol{X}'_A, \boldsymbol{Y}'_A$ $(\boldsymbol{X}_A = \boldsymbol{X}'_A, \boldsymbol{Y}_A = \boldsymbol{Y}'_A)$; опора *B* – стержневая, реакция определяется одной неизвестной составляющей $\boldsymbol{R}'_B$ $(\boldsymbol{R}_B = \boldsymbol{R}'_B)$. Считаем, что на раму действуют силовые реакции $\boldsymbol{X}'_A, \boldsymbol{Y}'_A, \boldsymbol{R}'_B$, на основную часть трактора – реакции $\boldsymbol{X}_A, \boldsymbol{Y}_A, \boldsymbol{R}_B$.

На раму также действуют задаваемые силы: M'_A – силовой момент торсионного вала, Н; $\boldsymbol{F}_x, \boldsymbol{F}_y, \boldsymbol{F}_z$ – составляющие силового действия прокалывателя в точке *D*, Н; в рабочем режиме $\boldsymbol{F}_x < 0, \boldsymbol{F}_y > 0$; составляющая $\boldsymbol{F}_z$ проявляется при боковом поперечном сносе трактора на склоне $\gamma \neq 0$, приводит к появлению дополнительной пары сил, действующей на торсионный вал (далее не рассматриваем, $\boldsymbol{F}_z = 0$).

R – радиус колес трактора, м; $a, b, c, d, e, r, s, h_1, h_2, h_3, h'_1, h'_2, l$ – размеры трактора (рис. 2), м; φ – угол наклона рамы прокалывателя к обрабатываемой плоскости, град.

$\boldsymbol{N}_1, \boldsymbol{N}_2, \boldsymbol{N}_3, \boldsymbol{N}_4$ – нормальные силовые реакции поверхности движения, действующие на колеса трактора; считаем движение безотрывным, поэтому вертикальные составляющие нормальных реакций должны быть направлены вверх, Н, при $\boldsymbol{N}_i \geq 0$ $(i=\overline{1,4})$.

$\boldsymbol{F}'_1, \boldsymbol{F}'_2, \boldsymbol{F}'_3, \boldsymbol{F}'_4$ – силы сцепления колес трактора, движущие силы ведущих колес, направлены в сторону движения трактора, Н;

$\boldsymbol{F}''_1, \boldsymbol{F}''_2, \boldsymbol{F}''_3, \boldsymbol{F}''_4$ – силы поперечного (бокового) трения скольжения, направлены в

сторону, противоположную предполагаемому относительному проскальзыванию соприкасающихся поверхностей, Н.

$\boldsymbol{X}_Q, \boldsymbol{Y}_Q, \boldsymbol{Z}_Q, M_Q$ $(\boldsymbol{X}_Q = \boldsymbol{X}'_Q, \boldsymbol{Y}_Q = \boldsymbol{Y}'_Q, \boldsymbol{Z}_Q = \boldsymbol{Z}'_Q, M_Q = M'_Q)$ – составляющие реакции соединительного устройства Q, для всей конструкции в целом являются внутренними силами и в ее уравнения движения (равновесия) не включаются. Будем считать, что силы $\boldsymbol{X}_Q, \boldsymbol{Y}_Q, \boldsymbol{Z}_Q, M_Q$ действуют на основную часть со стороны опорной, Н, а силы $\boldsymbol{X}'_Q, \boldsymbol{Y}'_Q, \boldsymbol{Z}'_Q, M'_Q$ действуют со стороны основной части на опорную, Н.

$M_{1k}, M_{2k}, M_{3k}, M_{4k}$ – моменты трения качения в колесах трактора, в приближенных расчетах ими можно пренебречь, если это не противоречит уравнениям движения, Н.

f, δ – коэффициенты трения скольжения (покоя) и трения качения, считаем, что они одинаковы для всех колес трактора, зависят от качества грунта, состояния колес и погодных условий; если трением качения пренебрегаем, то полагаем $\delta = 0$.

$M^1_{дв}, M^2_{дв}$ – силовые моменты двигателя, действуют на оси ведущих колес, определяют движущие силы сцепления, но сами относятся к внутренним силам и в уравнения движения трактора не включаются, Н.

M'_A – момент торсионного вала Н, оказывает прижимающее действие на раму прокалывателя, является внутренним усилием и в уравнения движения (равновесия) трактора с прокалывателем не включается. Силовой момент $M_A = M'_A$ действует на основную часть со стороны рамы. Для направления, изображенного на чертеже, $M_A = M'_A < 0$.

Если обозначить $\mu = \min(f \cdot R, \delta)$ – параметр трения, то во время движения вперед трактора для сил трения имеем (при отсутствии проскальзывания) следующее выражение:

$$F'_i = \frac{M^i_{дв}}{R} - \frac{\mu}{R} N_i \geq 0, \ (F'_i)^2 + (F''_i)^2 < (f \cdot N_i)^2;$$
$$M^1_{дв} = M^4_{дв}, M^2_{дв} = M^3_{дв}; \ M_{ik} = \mu \cdot N_i \quad (i = \overline{1,4}).$$

В частности, если пренебречь трением качения, считать $\delta = 0$, то в этих формулах следует применить $\mu = 0$.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Для установившегося рабочего движения трактора возможно считать, что силы, действующие на трактор и прокалыватель, находятся в равновесии. Выбираем в качестве координатных осей $Oxyz$: ось Ox – по направлению движения, ось Oy – перпендикулярно плоскости движения вверх, ось Oz – в поперечном направлении (рис. 2).

Уравнения равновесия рамы прокалывателя *AD* принимают вид:

$$\sum F_{ix} = 0;\ -X'_A + F_x = 0; \tag{1}$$

$$\sum F_{iy} = 0;\ -Y'_A - R'_B + F_y = 0; \tag{2}$$

$$\sum M_{iAz} = 0;\ -R'_B \cdot b + F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a+b) + M'_A = 0. \tag{3}$$

Здесь $h_2 = (a+b) \cdot tg\varphi$.

Уравнения равновесия трактора с прокалывателем (всей конструкции в целом, $H = h_1 + h_2 + h_3,\ H' = h'_1 + h'_2$):

$$\sum F_{ix} = 0;\ F'_1 + F'_2 + F'_3 + F'_4 + (G'_1 + G'_2) \cdot \sin\alpha + F_x = 0; \tag{4}$$

$$\sum F_{iy} = 0;\ N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - (G'_1 + G'_2) \cdot \cos\alpha + F_y = 0; \tag{5}$$

$$\sum F_{iz} = 0;\ F''_1 + F''_2 + F''_3 + F''_4 - (G''_1 + G''_2) \cdot \sin\gamma = 0; \tag{6}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{iPz} = 0;\ & -(N_2 + N_3) \cdot (d + e + r) + M_{1k} + M_{2k} + M_{3k} + M_{4k} - \\ & - F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c) - G'_1(H\sin\alpha - d\cos\alpha) - \\ & - G'_2(H'\sin\alpha - (d + e + r + s)\cos\alpha) = 0;\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{iEx} = 0;\ & -(N_3 + N_4) \cdot 2l + (G''_1 + G''_2)\cos\gamma \cdot l - \\ & - G''_1\sin\gamma \cdot H - G''_2\sin\gamma \cdot H' - F_y \cdot l = 0;\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{iEy} = 0;\ & -(F''_1 + F''_4)(d + e + r) + (F'_3 + F'_4)2l + \\ & + F_x \cdot l + (G'_1 + G'_2)\sin\alpha \cdot l + G''_1\sin\gamma \cdot (e + r) - G''_2\sin\gamma \cdot s = 0.\end{aligned} \tag{9}$$

Ось *Pz* совпадает с линией касания передних колес трактора, ось *Ex* совпадает с линией касания левых колес (по ходу движения); ось *Ey* параллельна оси *Oy* (согласно схеме на рис. 2).

Уравнения движения (равновесия) для опорной задней части трактора:

$$\sum F_{ix} = 0;\ -X'_Q + F'_2 + F'_3 + G'_2 \cdot \sin\alpha = 0; \tag{10}$$

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

$$\sum F_{iy} = 0;\ -Y'_Q + N_2 + N_3 - G''_2 \cdot \cos\gamma = 0; \tag{11}$$

$$\sum F_{iz} = 0;\ Z'_Q + F''_2 + F''_3 - G''_2 \cdot \sin\gamma = 0; \tag{12}$$

$$\sum M_{iEz} = 0;\ M'_Q + M_{2k} + M_{3k} -$$

$$-Y'_Q \cdot r + X'_Q \cdot h'_2 - G'_2(H'\sin\alpha - s\cdot\cos\alpha) = 0; \tag{13}$$

$$\sum M_{iEx} = 0;\ -N_3 \cdot 2l + Y'_Q \cdot l + Z'_Q \cdot h'_2 + G''_2(l\cdot\cos\gamma - H'\cdot\sin\gamma) = 0; \tag{14}$$

$$\sum M_{iEy} = 0;\ -X'_Q \cdot l - Z'_Q \cdot r + F'_3 \cdot 2l + G'_2 \sin\alpha \cdot l - G''_2 \sin\gamma \cdot s = 0. \tag{15}$$

Из уравнений (1) – (3) находим реакции в опорах прокалывателя:

$$X_A = X'_A = F_x;$$

$$Y_A = Y'_A = -R'_B + F_y = -\frac{1}{b}[(a+b)F_x \cdot tg\varphi + a\cdot F_y + M'_A];$$

$$R_B = R'_B = \frac{1}{b}[F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a+b) + M'_A] = \frac{1}{b}[(a+b)(F_x \cdot tg\varphi + F_y) + M'_A].$$

Уравнения (4) - (15) представляют собой систему двенадцати линейных алгебраических уравнений относительно 16 неизвестных составляющих реакций:

$$N_1, N_2, N_3, N_4, F'_1, F'_2, F'_3, F'_4, F''_1, F''_2, F''_3, F''_4, X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q;$$

силы $N_1, N_2, N_3, N_4, F'_1, F'_2, F'_3, F'_4, F''_1, F''_2, F''_3, F''_4$ действуют на колеса трактора и являются внешними силами;

силы X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q являются внутренними усилиями.

Считаем, что

$$Z'_Q = 0, \tag{16}$$

что допускается при установившемся прямом рабочем равномерном движении трактора.

Кроме этого, будем считать, что суммарные силы сцепления для каждой пары колес пропорциональны соответствующим суммарным нормальным реакциям, то есть:

$$F'_1 + F'_4 = \lambda(N_1 + N_4),\ F'_2 + F'_3 = \lambda(N_2 + N_3), \tag{17}$$

где λ – коэффициент пропорциональности, определяется из уравнений (4), (5):

$$\lambda = -\frac{(G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x}{(G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y}.$$

Далее, силы $F_1'', F_2'', F_3'', F_4''$ по отдельности зависят от внутреннего напряженного состояния колес в паре и также требуют поиска дополнительных зависимостей. Ограничимся определением суммарных составляющих в каждой паре колес:

$$F_{14}'' = F_1'' + F_4'', \quad F_{23}'' = F_2'' + F_3''. \tag{18}$$

Условия (16) - (18) позволяют уравнять число неизвестных реакций и число уравнений и однозначно разрешить систему уравнений (4) - (15).

Произведём решение. Сначала выделим из выражения (5):

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = (G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y;$$

затем из (7):

$$\begin{aligned} N_2 + N_3 = \frac{1}{d+e+r}[\mu(N_1 + N_2 + N_3 + N_4) - F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c) - \\ - G_1'(H\sin\alpha - d\cos\alpha) - G_2'(H'\sin\alpha - (d+e+r+s)\cos\alpha)] = \\ = \frac{1}{d+e+r}[-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - \\ - G_2'(H'\sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)]. \end{aligned}$$

Из уравнения (11) примем:

$$\begin{aligned} Y_Q' = N_2 + N_3 - G_2'' \cdot \cos\gamma = N_2 + N_3 - G_2' \cdot \cos\alpha = \\ = \frac{1}{d+e+r}[-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - \\ - G_2'(H'\sin\alpha - (s+\mu)\cos\alpha)]. \end{aligned} \tag{19}$$

Из уравнения (14):

$$\begin{aligned} N_3 = \frac{1}{2l}[Y_Q' \cdot l + G_2''(l \cdot \cos\gamma - H' \cdot \sin\gamma)] = \\ = \frac{1}{2(d+e+r)}[-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - \\ - G_2'(H'\sin\alpha - (s+\mu)\cos\alpha)] + \frac{1}{2l}G_2''(l \cdot \cos\gamma - H' \cdot \sin\gamma). \end{aligned} \tag{20}$$

Из уравнения (8):

$$N_4 = -N_3 + \frac{1}{2}(G_1'' + G_2'')\cos\gamma - \frac{1}{2l}[(G_1''\cdot H + G_2''\cdot H')\sin\gamma + F_y\cdot l] =$$
$$= -\frac{1}{2}(Y_Q' + F_y) + \frac{1}{2l}G_1''(l\cos\gamma - H\sin\gamma) = -\frac{1}{2}F_y + \frac{1}{2l}G_1''(l\cos\gamma - H\sin\gamma) -$$
$$-\frac{1}{2(d+e+r)}[-F_x\cdot h_3 + F_y\cdot(a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - \quad (21)$$
$$-G_2'(H'\sin\alpha - (s+\mu)\cos\alpha)].$$

Из уравнения (11):

$$N_2 = -N_3 + Y_Q' + G_2''\cdot\cos\gamma = \frac{1}{2l}[Y_Q'\cdot l + G_2''(l\cdot\cos\gamma + H'\cdot\sin\gamma)] =$$
$$= \frac{1}{2(d+e+r)}[-F_x\cdot h_3 + F_y\cdot(a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - \quad (22)$$
$$-G_2'(H'\sin\alpha - (s+\mu)\cos\alpha)] + \frac{1}{2l}G_2''(l\cdot\cos\gamma + H'\cdot\sin\gamma).$$

Из уравнения (5):

$$N_1 = -(N_2 + N_3 + N_4 + F_y) + (G_1' + G_2')\cdot\cos\alpha =$$
$$= \frac{1}{2l}G_1''(l\cdot\cos\gamma + H\cdot\sin\gamma) - \frac{1}{2}F_y - \frac{1}{2}Y_Q' = \frac{1}{2l}G_1''(l\cdot\cos\gamma + H\cdot\sin\gamma) - \frac{1}{2}F_y -$$
$$-\frac{1}{2(d+e+r)}[-F_x\cdot h_3 + F_y\cdot(a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) -$$
$$-G_2'(H'\sin\alpha - (s+\mu)\cos\alpha)]. \quad (23)$$

Из уравнений (6), (12):

$$F_{23}'' = G_2''\cdot\sin\gamma, \quad F_{14}'' = G_1''\cdot\sin\gamma. \quad (24)$$

Из уравнения (10):

$$X_Q' = F_2' + F_3' + G_2'\cdot\sin\alpha = \lambda(N_2 + N_3) + G_2'\cdot\sin\alpha$$
$$= \frac{\lambda}{d+e+r}[-F_x\cdot h_3 + F_y\cdot(a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha -$$
$$-G_2'(H'\sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)] + G_2'\cdot\sin\alpha =$$

$$= -\frac{1}{d+e+r} \cdot \frac{(G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x}{(G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) -$$
$$- G_1'(H \sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - G_2'(H' \sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)] \qquad (25)$$
$$+ G_2' \cdot \sin\alpha.$$

Из уравнения (15):

$$F_3' = \frac{1}{2}(X_Q' - G_2' \sin\alpha) + \frac{1}{2l} G_2'' \sin\gamma \cdot s =$$
$$= -\frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \frac{(G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x}{(G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) -$$
$$- G_1'(H \sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - G_2'(H' \sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)]$$
$$+ \frac{s}{2l} G_2'' \sin\gamma. \qquad (26)$$

Из уравнения (9):

$$(F_3' + F_4')2l = F_{14}''(d+e+r) - F_x \cdot l - (G_1' + G_2')\sin\alpha \cdot l - G_1'' \sin\gamma \cdot (e+r) +$$
$$+ G_2'' \sin\gamma \cdot s = (G_1'' \cdot d + G_2'' \cdot s)\sin\gamma - (G_1' + G_2')\sin\alpha \cdot l - F_x \cdot l,$$

$$F_4' = -F_3' + \frac{1}{2l}(G_1'' \cdot d + G_2'' \cdot s)\sin\gamma - \frac{1}{2}(G_1' + G_2')\sin\alpha - \frac{1}{2}F_x = \qquad (27)$$
$$= \frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \frac{(G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x}{(G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) -$$
$$- G_1'(H \sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - G_2'(H' \sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)]$$
$$+ \frac{d}{2l} G_1'' \sin\gamma - \frac{1}{2}(G_1' + G_2')\sin\alpha - \frac{1}{2}F_x.$$

Из уравнения (13):

$$M_Q' = -\mu(N_2 + N_3) + Y_Q' \cdot r - X_Q' \cdot h_2' + G_2'(H' \sin\alpha - s \cdot \cos\alpha) =$$
$$= (r - \lambda \cdot h_2' - \mu)(N_2 + N_3) + G_2'(h_1' \sin\alpha - (r+s) \cdot \cos\alpha) = \qquad (28)$$
$$= \frac{r - \lambda \cdot h_2' - \mu}{d+e+r} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H \sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) -$$
$$- G_2'(H' \sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)] + G_2'(h_1' \sin\alpha - (r+s) \cdot \cos\alpha).$$

Из уравнения (10):

$$F_2' = X_Q' - F_3' - G_2' \cdot \sin\alpha = \frac{\lambda}{2}(N_2 + N_3) - \frac{s}{2l} G_2'' \cdot \sin\gamma = \tag{29}$$

$$= \frac{\lambda}{2(d+e+r)}[-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) -$$

$$- G_2'(H'\sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)] - \frac{s}{2l} G_2'' \cdot \sin\gamma.$$

Из уравнения (17):

$$F_1' = \lambda(N_1 + N_4) - F_4' = -\frac{\lambda}{2}(N_2 + N_3) - \frac{1}{2}(G_1' + G_2')\sin\alpha - \frac{d}{2l} G_1''\sin\gamma - \frac{1}{2} F_x =$$

$$= \frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \frac{(G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x}{(G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha - F_y}[-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) -$$

$$- G_1'(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - G_2'(H'\sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha)] \tag{30}$$

$$- \frac{1}{2}(G_1' + G_2')\sin\alpha - \frac{d}{2l} G_1''\sin\gamma - \frac{1}{2} F_x.$$

Таким образом, получены выражения для опор трактора, реакции поверхности движения и силовые характеристики элементов прокалывателя.

Для определения условий предельного перехода к движению со скольжением рассмотрим равнодействующие:

$$N_{14} = N_1 + N_4,\ N_{23} = N_2 + N_3;\quad F_{14}' = F_1' + F_4',\ F_{23}' = F_2' + F_3'.$$

Для стабильности рабочего режима трактора (отсутствие пробуксовки движителей или бокового сноса в передней и задней паре колес) в первом приближении необходимо обеспечить условие:

$$(F_{14}')^2 + (F_{14}'')^2 < f^2 N_{14}^2,\ (F_{23}')^2 + (F_{23}'')^2 < f^2 N_{23}^2,$$

При этом используем ранее полученные выражения (19) - (30).

Представляет интерес также условие вздыбливания трактора, когда, натыкаясь прокалывателем на жесткую преграду, передние колеса трактора могут потерять контакт с грунтом. Это условие отрыва передних колес:

$$N_1 + N_4 < 0,$$

или, составляя уравнение моментов сил относительно оси *Ez*, проходящей через точку *E* параллельно *Pz*:

$$\sum M_{Ezi} = 0;\ (N_1 + N_4)(d+e) + M_{1k} + M_{2k} + M_{3k} + M_{4k} - F_x \cdot h_2 +$$
$$+ F_y \cdot (a+b+c+d+e+r) - G_1'(H\sin\alpha + (e+r)\cos\alpha) -$$
$$- G_2'(H'\sin\alpha - s\cdot\cos\alpha) = 0,$$

Получаем

$$M_{2k} + M_{3k} - F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a+b+c+d+e+r) -$$
$$- G_1'(H\sin\alpha + (e+r)\cos\alpha) - G_2'(H'\sin\alpha - s\cdot\cos\alpha) > 0,$$

или

$$\mu(N_2 + N_3) - F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a+b+c+d+e+r) -$$
$$- G_1'(H\sin\alpha + (e+r)\cos\alpha) - G_2'(H'\sin\alpha - s\cdot\cos\alpha) > 0. \quad (31)$$

При выполнении условия (31) происходит вздыбливание трактора, передние колеса поднимаются над поверхностью грунта.

Таким образом, нами получены зависимости, являющиеся теоретическим обоснованием параметров воздействия фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора и поверхность движения, что позволит произвести детальный расчёт конструкции, подбор элементной базы и силовых характеристик фронтального прокалывателя-щелереза.

Список использованных источников

1. Кузнецов Е.Е., Поликутина Е.С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств: монография; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. – 148 с.

2. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ. – Благовещенск, 2017. – 272 с.

3. Алдошин Н.В., Пехутов А.С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – №4. – С. 26-27.

4. Беляев В.И., Вольнов В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. Монография. – Барнаул: Алт.ГАУ, 2010. – 178 с.

5. Поликутина Е.С., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Повышение производительности колёсных тракторов путём модернизации их ходовой системы // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 6. – С. 18-20.

6. Скурятин Н.Ф., Соловьев Е.В., Соловьёв С.В., Бондарев А.В. Методы оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров тракторных транспортно-технологических агрегатов: монография. – Москва; Белгород: ООО «Издательско-книготорговый центр Колосс», 2020. – 129 с.

7. Щитов С.В. и др. Перераспределение сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата при проведении предпосевной обработки // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – №1(41). – С. 88-95.

8. Сурин Р.О. и др. Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы // 65я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Теоретические и практические вопросы современной науки / Сборник научных работ 65й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июль 2020). -№ 7(65). — Москва: ЕНО, 2020. – С. 117-120.

9. Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Бурмага А.В., Козлова Л.В. Влияние установки прокалывателя-щелевателя на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_217.pdf.

==========

Цитирование:

Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Бурмага А.В., Самуйло В.В. Обоснование воздействия динамических параметров фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора в движении [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_308.pdf.