

УДК 631.372

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ВЕТВЯХ ОБВОДА ТРАКТОРА С РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЕЙ И УПРУГОЙ ПОДВЕСКОЙ

Ч.И. Жданович,

доцент каф. тракторов БНТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Н. Плищ,

ст. преподаватель каф. тракторов БНТУ

*Рассмотрены условия обеспечения устойчивости резиноармированной гусеницы на ведущем колесе трактора с индивидуальной торсионной подвеской. Получены аналитические зависимости для определения усилий в рабочей и свободной ветвях обвода трактора с резиноармированной гусеницей и упругой подвеской на различных режимах движения. Определены усилия в ветвях обвода тракторов «БЕЛАРУС» с резиноармированной гусеницей.*

*Ключевые слова: гусеничный трактор, устойчивость гусеницы, усилия в ветвях обвода, натяжение гусеницы, резиноармированная гусеница, упругая подвеска.*

*The conditions for ensuring the stability of a rubber-reinforced caterpillar on the tractor driving wheel with an individual torsion bar suspension are considered. Analytical functions are obtained for determining the forces in the working and free branches of the tractor bypass with a rubber-reinforced track and elastic suspension in various driving modes. The efforts in the branches of the tractors "Belarus" bypass with a rubber-reinforced caterpillar are determined.*

*Key words: crawler tractor, caterpillar stability, efforts in the bypass branches, caterpillar tension, rubber-reinforced caterpillar, elastic suspension.*

### Введение

В настоящее время на сельскохозяйственных тракторах широко применяются резиноармированные гусеницы (РАГ) и индивидуальные торсионные подвески [1-4]. Гусеничные обводы таких движителей, как правило, обладают повышенной податливостью. В связи с использованием на тракторах РАГ и индивидуальных торсионных подвесок возникла проблема обеспечения устойчивости (исключения сброса) РАГ в упругом обводе гусеничного движителя. Устойчивость гусеницы на ведущем колесе можно оценить по величинам усилий в свободной и рабочей ветвях гусеничного движителя [5-6].

Определению усилий в ветвях гусеничного движителя тракторов для различных типов гусениц, но без учета параметров подвески, посвящены работы [7-8].

Моделированию работы гусеничного обвода и определению усилий, с учетом параметров подвески, в ветвях движителя военных и транспортных машин, оснащенных гусеницами с резинометаллическими шарнирами, посвящены работы [5; 6; 9; 10], но в них отсутствуют аналитические зависимости, устанавливающие связь между характеристикой подвески, продольной жесткостью РАГ и усилиями в рабочей и свободной ветвях обвода.

Цель настоящей работы – получение аналитических зависимостей и определение усилий в ветвях обвода трактора с РАГ и упругой подвеской в режимах трогания и движения.

### Основная часть

#### Усилия в ветвях обвода с РАГ и упругой подвеской в режиме трогания трактора

Режиму трогания трактора с крюковой нагрузкой присуща малая скорость движения, либо ее отсутствие. Центробежные силы, действующие в обводе в этом режиме движения, малы, либо вообще отсутствуют. Поэтому с достаточной степенью точности можно допустить, что в режиме трогания на величину усилий в ветвях оказывает влияние только усилие на ведущем колесе ( $F_{\text{вк}}$ , Н):

$$F_{\text{вк}} = \frac{M_{\text{вк}}}{r_{\text{вк}}},$$

где  $M_{\text{вк}}$  – момент на ведущем колесе, Н·м;

$r_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м.

При трогании происходит перераспределение сил натяжения в гусенице, которое приводит к изменению положения корпуса машины и геометрии обвода. В общем случае перемещение корпуса может быть задано двумя величинами: вертикальным перемещением центра тяжести поддрессоренной массы и углом поворота корпуса относительно центра тяжести поддрессоренной массы. Согласно исследованиям В.Ф. Платонова [5], наибольшее приращение длины обвода происходит при вертикальном перемещении корпуса. Поэтому допустим, что корпус перемещается только в вертикальной плоскости (рис. 1).

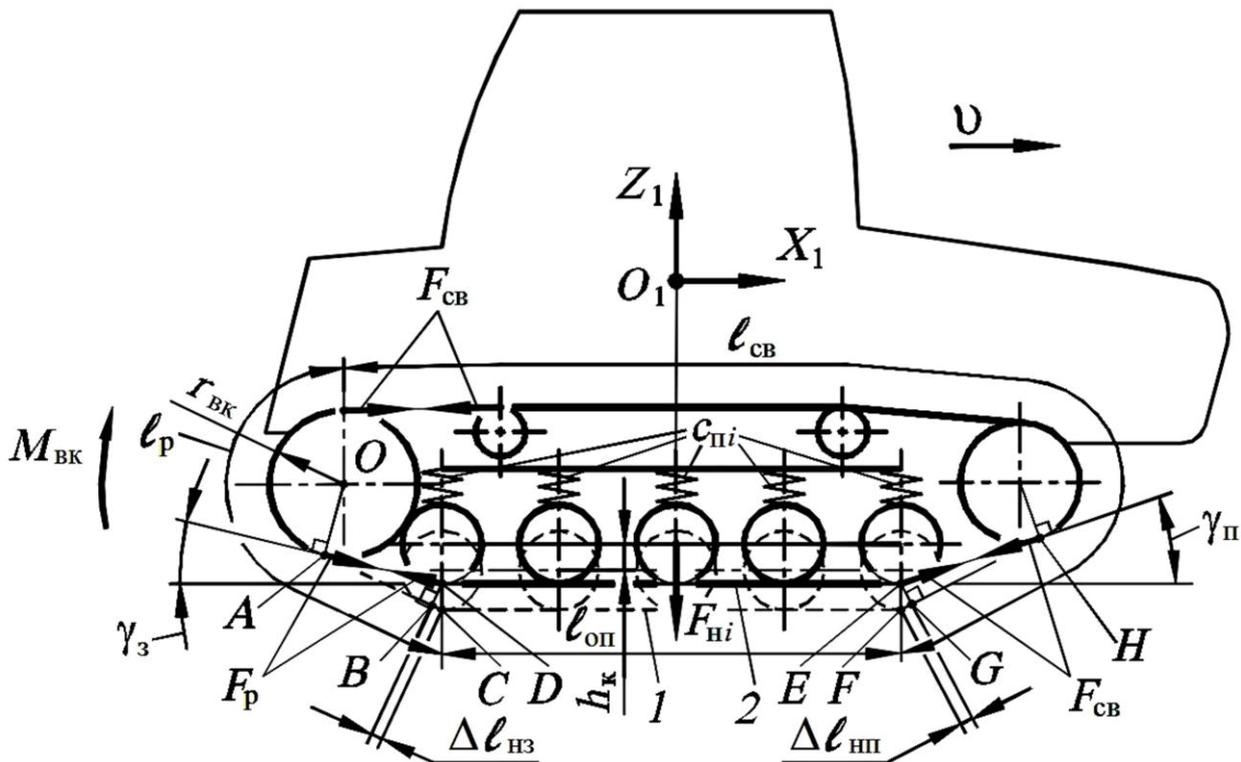


Рисунок 1. Расчетная схема гусеничного трактора:  
1 – статическое и 2 – динамическое положения опорной ветви обвода

В результате перераспределения сил натяжения в гусенице и изменения положения корпуса возникает разница между периметром обвода и длиной гусеницы. В общем случае сумма удлинений  $\Delta l_p + \Delta l_{св} + \Delta l_n$  при эксплуатационных значениях усилия  $F_{вк}$  равна сумме удлинений ветвей от статического натяжения:

$$\Delta l_p + \Delta l_{св} + \Delta l_n = \Delta l_{ср} + \Delta l_{ссв} + \Delta l_{сн}. \quad (1)$$

где  $\Delta l_p$  – упругое удлинение рабочей ветви, м;

$\Delta l_{св}$  – упругое удлинение свободной ветви, м;

$\Delta l_n$  – удлинение наклонных ветвей гусеничного обвода от перемещения опорных катков относительно остова трактора, м;

$\Delta l_{ср}$  – упругое удлинение рабочей ветви под действием статического натяжения, м;

$\Delta l_{ссв}$  – упругое удлинение свободной ветви под действием статического натяжения, м;

$\Delta l_{сн}$  – удлинение наклонных ветвей гусеничного обвода под действием статического натяжения от перемещения опорных катков относительно остова трактора, м.

Длины  $\Delta l_p$ ,  $\Delta l_{св}$ ,  $\Delta l_{ср}$ ,  $\Delta l_{ссв}$  определим, используя уравнения механики материалов:

$$\Delta l_p = \frac{F_p}{EA} l_p; \quad \Delta l_{св} = \frac{F_{св}}{EA} l_{св}; \quad \Delta l_{ср} = \frac{F_c}{EA} l_p;$$

$$\Delta l_{ссв} = \frac{F_c}{EA} l_{св}, \quad (2)$$

где  $l_p$  – длина рабочей ветви гусеницы, м;

$l_{св}$  – длина свободной ветви гусеницы, м;

$EA$  – жесткость РАГ при растяжении, Н;

$F_p$  – усилие в рабочей ветви обвода, Н;

$F_{св}$  – усилие в свободной ветви обвода, Н;

$F_c$  – предварительное статическое натяжение гусеницы, Н.

Общее приращение длины обводов наклонных ветвей  $\Delta l_n$  будет равно сумме приращений длин передней ( $\Delta l_{нп}$ , м) и задней ( $\Delta l_{нз}$ , м) наклонных ветвей:

$$\Delta l_n = \Delta l_{нп} + \Delta l_{нз}. \quad (3)$$

Зависимость для определения общей дополнительной нагрузки на все катки от натяжения гусеницы

( $\sum_{i=1}^n F_{ни}$ , Н) получим, спроецировав силы, действующие в гусеничном движителе при трогании трактора на ось  $O_1Z_1$  (рис. 1):

$$\sum_{i=1}^n F_{ни} = \sum_{i=1}^n c_{пи} h_k,$$

где  $h_k$  – вертикальное перемещение опорных катков относительно остова трактора под действием усилий в рабочей и свободной ветвях, м;

$c_{пи}$  – приведенная жесткость подвески  $i$  – го опорного катка, Н/м;

При условии, что жесткость подвески всех опорных катков одинакова, получим:

$$F_p \sin \gamma_3 + F_{св} \sin \gamma_п = n c_{п} h_k, \quad (4)$$

где  $c_{п}$  – жесткость подвески опорного катка, Н/м;

$\gamma_п$  – угол наклона передней ветви, град;

$\gamma_3$  – угол наклона задней ветви, град;

$n$  – число опорных катков гусеничного движителя.  
Тогда  $h_k$  для режима трогания с учетом выражения (4) примет вид:

$$h_k = \frac{F_p \sin \gamma_3 + F_{cb} \sin \gamma_{\Pi}}{nc_{\Pi}} \quad (5)$$

Для статического режима, когда гусеница находится только под действием  $F_c$ , т.е.  $F_p = F_{cb} = F_c$ , выражение (5) примет вид:

$$h_{ck} = \frac{F_c (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})}{nc_{\Pi}} \quad (6)$$

где  $h_{ck}$  – вертикальное перемещение опорных катков относительно остова трактора под действием  $F_c$  в рабочей и свободной ветвях, м.

Рассмотрев прямоугольные треугольники  $\triangle ABD$ ,  $\triangle CBD$ ,  $\triangle HGE$ ,  $\triangle FGE$  (рис. 1), получим приращения длин обводов передней  $\Delta l_{\Pi\Pi}$ , м и задней  $\Delta l_{\PiЗ}$ , м наклонных ветвей:

$$\Delta l_{\PiЗ} = h_k \sin \gamma_3; \quad \Delta l_{\Pi\Pi} = h_k \sin \gamma_{\Pi} \quad (7)$$

Тогда общее приращение длины обводов  $\Delta l_{\Pi}$  (3) с учетом выражений (7) примет вид:

$$\Delta l_{\Pi} = h_k (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi}) \quad (8)$$

Приращение длин наклонных ветвей выражения (8) для режима трогания  $\Delta l_{\Pi}$  и статического режима  $\Delta l_{\Pi}$  с учетом формул (5) и (6) примут вид:

$$\Delta l_{\Pi} = (F_p (\sin^2 \gamma_3 + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi}) + F_{cb} (\sin^2 \gamma_{\Pi} + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi})) \times (nc_{\Pi})^{-1} \quad (9)$$

$$\Delta l_{\Pi} = \frac{F_c (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})^2}{nc_{\Pi}} \quad (10)$$

Тогда сумма удлинений ветвей согласно выражению (1), с учетом составляющих (2), (9) и (10) примет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{F_p}{EA} l_p + \frac{F_{cb}}{EA} l_{cb} + (F_p (\sin^2 \gamma_3 + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi}) + F_{cb} (\sin^2 \gamma_{\Pi} + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi})) \times (nc_{\Pi})^{-1} = \\ & = \frac{F_c}{EA} l_p + \frac{F_c}{EA} l_{cb} + \frac{F_c (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})^2}{nc_{\Pi}} \end{aligned} \quad (11)$$

Преобразовав формулу (11), получим выражение для определения усилия в рабочей ветви обвода  $F_p$

$$\begin{aligned} F_p = F_c \frac{nc_{\Pi} (l_p + l_{cb}) + EA (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})^2}{nc_{\Pi} l_p + EA (\sin^2 \gamma_3 + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi})} - \\ - F_{cb} \frac{nc_{\Pi} l_{cb} + EA (\sin^2 \gamma_{\Pi} + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi})}{nc_{\Pi} l_p + EA (\sin^2 \gamma_3 + \sin \gamma_3 \sin \gamma_{\Pi})} \end{aligned} \quad (12)$$

Решая уравнение (12) относительно  $F_{cb}$ , с учетом известного выражения  $F_{bk} = F_p - F_{cb}$  и приняв, что для режима трогания  $F_c$  имеет значение ( $F_{c.т}$ , Н), получим выражения для определения усилий в ветвях обвода трактора с РАГ и упругой подвеской при трогании:

– в свободной ветви при трогании

$$F_{cb} = F_{c.т} - F_{bk} \times \left( \frac{nc_{\Pi} l_p + EA \sin \gamma_3 (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})}{nc_{\Pi} (l_p + l_{cb}) + EA (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{\Pi})^2} \right); \quad (13)$$

– в рабочей ветви при трогании

$$F_p = F_{cb} + F_{bk} \quad (14)$$

Полученные зависимости (13) и (14) позволяют определить усилия в рабочей и свободной ветвях гусеничного обвода трактора с РАГ в режиме трогания при работающей подвеске в тяговом режиме.

В случае блокировки подвески ее жесткость  $c_{\Pi} \rightarrow \infty$ . Тогда усилие в свободной ветви при трогании и заблокированной подвеске ( $F_{cb.б}$ , Н) для гусеничного обвода с РАГ определится выражением:

$$F_{cb.б} = \lim_{c_{\Pi} \rightarrow \infty} F_{cb} \quad (15)$$

Вычислив выражение (15), с учетом (13) и уточнив (14), получим зависимости для определения усилий в свободной  $F_{cb.б}$  и рабочей ( $F_{p.б}$ , Н) ветвях обвода трактора при трогании с заблокированной подвеской и РАГ:

$$F_{cb.б} = F_{c.б.т} - F_{bk} \left( \frac{l_p}{l_p + l_{cb}} \right), \quad (16)$$

где  $F_{c.б.т}$  – предварительное статическое натяжение при заблокированной подвеске в режиме трогания, Н.

$$F_{p.б} = F_{cb.б} + F_{bk} \quad (17)$$

Следует отметить, что полученные зависимости (16) и (17) совпали с выражениями В.Ф. Платонова [5] для определения усилий в свободной и рабочей ветвях движителя с металлическими гусеницами без учета подвески.

Установлено, что при заблокированной подвеске продольная жесткость РАГ не влияет на перераспределение усилий в ветвях.

#### **Усилия в ветвях обвода с РАГ и упругой подвеской при движении трактора**

При движении трактора в тяговом режиме происходит перематывание РАГ относительно остова, и общее натяжение в гусеничном обводе увеличивается за счет возникновения центробежных сил ( $F_{ц}$ , Н) [9]:

$$F_{ц} = \frac{qv^2}{g},$$

где  $q$  – вес единицы длины гусеницы, Н/м;  
 $v$  – теоретическая скорость движения трактора, м/с;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Установим взаимосвязь между скоростью движения трактора, предварительным статическим натяжением  $F_c$  и статическим натяжением РАГ в движении ( $F_{c,v}$ , Н).

При отсутствии силы тяги общее натяжение в свободной ветви  $F_{cb}$  в состоянии покоя определяется зависимостью:

$$F_{cb} = F_c, \quad (18)$$

натяжение в свободной ветви в движении при отсутствии силы тяги ( $F_{cbv}$ , Н) [9, с. 34]:

$$F_{cbv} = F_{c,v} + F_{ц}, \quad (19)$$

Приращение растягивающих усилий в свободной ветви гусеницы ( $\Delta F_{cb}$ , Н) определим, как разность усилий в свободной ветви в движении  $F_{cbv}$  (19) и в состоянии покоя  $F_{cb}$  (18):

$$\Delta F_{cb} = F_{c,v} + F_{ц} - F_c. \quad (20)$$

С достаточным приближением РАГ может быть заменена лентой с равномерно распределенными по ее длине весом и жесткостью. Подобное допущение позволяет использовать для анализа методы механики материалов и получить точные аналитические зависимости. Тогда жесткость РАГ при растяжении  $EA$  для ветвей, находящихся под натяжением, примет вид:

$$EA = \frac{FS_{н}}{\Delta S}, \quad (21)$$

где  $F$  – растягивающее усилие в гусенице, Н;

$S_{н}$  – номинальная длина ветви при отсутствии растягивающей нагрузки, м;

$\Delta S$  – удлинение ветви по сравнению с ее первоначальным состоянием, м.

С достаточной степенью точности при высоких натяжениях и малых стрелах прогиба РАГ свободную ветвь гусеничного обвода трактора можно привести к пролету ветви длиной  $l_{cb}$ . Тогда выражение (21) с учетом выражения (20) после преобразований примет вид:

$$\Delta S_{cb} = \frac{l_{cb}}{EA} (F_{c,v} + F_{ц} - F_c), \quad (22)$$

где  $\Delta S_{cb}$  – удлинение свободной ветви по сравнению с ее первоначальным состоянием, м.

С другой стороны,  $\Delta S_{cb}$  можно определить, как разность длин свободной ветви при движении трактора ( $S_{cbv}$ , м) со скоростью  $v$ , когда натяжение определяется выражением (19) и длиной свободной ветви в состоянии покоя ( $S_{cb}$ , м), когда натяжение определяется выражением (18):

$$\Delta S_{cb} = S_{cbv} - S_{cb}. \quad (23)$$

Длина свободной ветви в состоянии покоя  $S_{cb}$  согласно [5, с. 33] с учетом (18), определится выражением:

$$S_{cb} = l_{cb} + \frac{q^2 l_{cb}^3}{24 F_c^2}. \quad (24)$$

Длина свободной ветви при движении трактора  $S_{cbv}$  со скоростью  $v$  с учетом выражения (19) и при

условии, что натяжение от центробежных сил будет равно нулю, т.к. оно не создает реакции на опорах, и, следовательно, не влияет на изменение геометрии обвода, определится выражением:

$$S_{cbv} = l_{cb} + \frac{q^2 l_{cb}^3}{24 F_{c,v}^2}. \quad (25)$$

Тогда формула (23) с учетом выражений (24) и (25) примет вид:

$$\Delta S_{cb} = \frac{q^2 l_{cb}^3}{24} \left( \frac{1}{F_{c,v}^2} - \frac{1}{F_c^2} \right). \quad (26)$$

Приравняв правые части уравнений (22) и (26) и проведя алгебраические преобразования, получим нелинейное алгебраическое уравнение 2-го порядка для определения статического натяжения в движении при работающей подвеске  $F_{c,v}$  гусеничного обвода с РАГ:

$$F_{c,v} + F_{ц} - F_c = \frac{EAq^2 l_{cb}^2}{24} \left( \frac{1}{F_{c,v}^2} - \frac{1}{F_c^2} \right). \quad (27)$$

Тогда выражения для определения натяжений в свободной ветви в движении с тяговой нагрузкой (19) с учетом выражения (13) и в рабочей ветви в движении при работающей подвеске ( $F_{pv}$ , Н) примут вид:

– в свободной ветви в движении при работающей подвеске

$$F_{cbv} = F_{c,v} - F_{вк} \left( \frac{nc_{п} l_{п} + EA \sin \gamma_3 (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{п})}{nc_{п} (l_{п} + l_{cb}) + EA (\sin \gamma_3 + \sin \gamma_{п})^2} \right) + F_{ц}; \quad (28)$$

– в рабочей ветви в движении при работающей подвеске

$$F_{pv} = F_{cbv} + F_{вк}. \quad (29)$$

В случае отключения подвески выражение для определения статического натяжения в движении при заблокированной подвеске ( $F_{c,б,v}$ , Н) гусеничного обвода с РАГ (27) примет вид:

$$F_{c,б,v} + F_{ц} - F_{c,б} = \frac{EAq^2 l_{cb}^2}{24} \left( \frac{1}{F_{c,б,v}^2} - \frac{1}{F_{c,б}^2} \right).$$

Для режима блокировки подвески ( $c_{п} \rightarrow \infty$ ) преобразуя выражения (28) и (29), получим зависимости для определения усилий в свободной ( $F_{cbv,б}$ , Н) и рабочей ( $F_{pv,б}$ , Н) ветвях обвода с РАГ в движении при заблокированной подвеске:

– в свободной ветви в движении при заблокированной подвеске

$$F_{cbv,б} = F_{c,б,v} - F_{вк} \left( \frac{l_{п}}{l_{п} + l_{cb}} \right) + F_{ц}; \quad (30)$$

– в рабочей ветви в движении при заблокированной подвеске

$$F_{pv,б} = F_{cbv,б} + F_{вк}. \quad (31)$$

Следует отметить, что полученные зависимости (30) и (31) совпали с выражениями В.Ф. Платонова [9] для определения усилий в свободной и рабочей ветвях движителя с металлическими гусеницами без учета подвески.

**Определение усилий в ветвях обвода с РАГ**

Используя полученные зависимости, определены усилия в ветвях РАГ тракторов «БЕЛАРУС 1802», «БЕЛАРУС 2102», «БЕЛАРУС 2103». Усилие на ведущем колесе  $F_{вк}$  определяли из условия реализации номинальной мощности двигателя и с учетом ограничений по сцеплению РАГ с опорным основанием.

Результаты расчета приведены на рисунках 2-3 и в таблице 1.

**Заключение**

В результате проведенных исследований получены аналитические зависимости для определения усилий в рабочих и свободных ветвях тракторов с РАГ от предварительного натяжения гусеницы, усилия на ведущем колесе, центробежных сил в гусеничном обводе, геометрии гусеничного обвода, характеристик подвески, продольной жесткости РАГ, отличающиеся учетом параметров и режимов работы подвески, продольной жесткости РАГ, а также режимов движения трактора.

Получены уравнения для определения статического натяжения РАГ в движении при работающей и заблокированной подвесках.

Установлено, что при реализации номинальной мощности двигателя максимальные значения усилий в рабочих ветвях возникают при трогании и движении со скоростью, не превышающей для тракторов «БЕЛАРУС 1802» – 5,64 км/ч; «БЕЛАРУС 2102» – 5,43 км/ч; «БЕЛАРУС 2103» – 4,67 км/ч.

Минимальные значения усилий в свободных

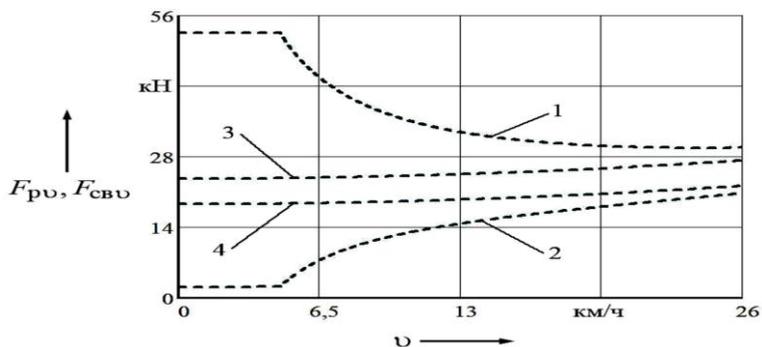


Рисунок 2. Зависимость усилий в рабочей (1, 3) и свободной (2, 4) ветвях гусеничного обвода трактора «БЕЛАРУС 2103» от скорости движения при включенной подвеске:

1, 2 – тяговый режим работы трактора при реализации максимального усилия на ведущем колесе; 3, 4 – режим движения трактора без кривоковой нагрузки

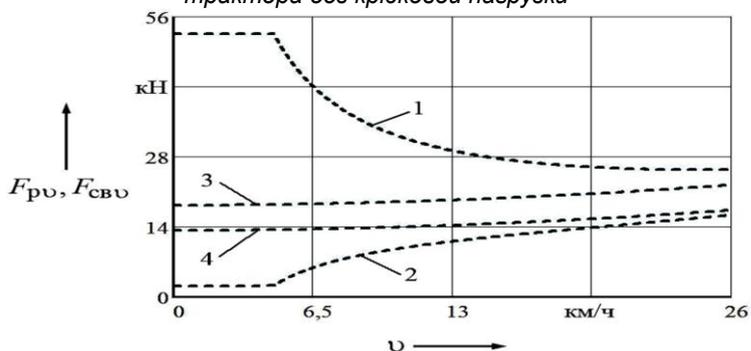


Рисунок 3. Зависимость усилий в рабочей (1, 3) и свободной (2, 4) ветвях гусеничного обвода трактора «БЕЛАРУС 2103» от скорости движения при заблокированной подвеске:

1, 2 – тяговый режим работы трактора при реализации максимального усилия на ведущем колесе; 3, 4 – режим движения трактора без кривоковой нагрузки

ветвях обводов при различных режимах работы подвески (включена или заблокирована) при трогании и в движении при выбранном предварительном натяжении РАГ для тракторов «БЕЛАРУС 1802»; «БЕЛАРУС 2102»; «БЕЛАРУС 2103», соответственно, составили 1,628 кН; 1,035 кН; 2,120 кН.

Максимальные значения усилий в рабочих ветвях обводов при различных режимах работы подвес-

**Таблица 1. Результаты расчета рекомендуемого предварительного натяжения РАГ по критерию устойчивости на ведущем колесе гусеничного обвода, максимальных усилий в рабочих и минимальных в свободных его ветвях при работе трактора в тяговом режиме**

Режим работы подвески	БЕЛАРУС 1802	БЕЛАРУС 2102	БЕЛАРУС 2103
Рекомендуемое предварительное натяжение РАГ по критерию устойчивости в обводе, кН			
включена	15,30	15,05	20,40
заблокирована	10,43	12,11	14,51
Минимальные усилия в свободных ветвях обвода с РАГ, кН			
включена	1,628	1,035	2,120
заблокирована			
Максимальные усилия в рабочих ветвях обвода с РАГ, кН			
включена	37,15	44,41	52,51
заблокирована			

ки (включена или заблокирована) при трогании и в движении при выбранном предварительном натяжении РАГ для тракторов «БЕЛАРУС 1802»; «БЕЛАРУС 2102»; «БЕЛАРУС 2103», соответственно, составили 37,15 кН; 44,41 кН; 52,51 кН.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коробкин, В.А. Гусеничный трактор общего назначения «БЕЛАРУС 1802» / В.А. Коробкин // Международный аграрный журнал. – 2001. – № 9. – С. 46-48.
2. Бойков, В.П. Опыт создания гусеничного трактора «БЕЛАРУС 1802» / В.П. Бойков, Ч.И. Жданович, В.А. Коробкин // Автотракторный факультет на грани столетий: сб. докладов / Под ред. Н.М. Капустина. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – С. 9.
3. Коробкин, В.А. Первый отечественный гусеничный трактор «БЕЛАРУС» / В.А. Коробкин, В.К. Папка // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 10-12.
4. Жданович, Ч.И. Определение характеристик подвески гусеничного трактора / Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ // Вестник БНТУ. – 2008. – № 4. – С. 60-64.
5. Платонов, В.Ф. Динамика и надежность гусеничного двигателя / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с.
6. Теория и конструкция танка: в 10 т. / редкол.: П.П. Исаков (гл. ред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982–1990. – Т. 6: Вопросы проектирования ходовой части военных гусеничных машин / Б.А. Абрамов [и др.]. – 1985. – 244 с.
7. Антонов, А.С. Теория гусеничного двигателя / А.С. Антонов. – М.: Машгиз, 1949. – 214 с.
8. Федоткин, Р.С. Расчетно-экспериментальные методы оценки нагруженности и долговечности резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Р.С. Федоткин; ОАО «Научно-исслед. институт стали». – М., 2015. – 24 с.
9. Гусеничные транспортеры – тягачи / В.Ф. Платонов [и др.]; под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.
10. Бажуков, А.Е. Расчет параметров ходовой части гусеничной машины / А.Е. Бажуков, С.И. Худорожков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнического ун-та. – Санкт-Петербург: Машиностроение. – 2015. – № 4 (231). – С. 189-195.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.11.2021

УДК 621.929:636(476)

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕШАЛКИ МИКСЕРА НА МОЩНОСТЬ СТРУИ ЖИДКОГО НАВОЗА

И.М. Швед,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

*Размыв осадка в навозохранилище осуществляется под слоем жидкой фракции навоза, что может быть сравнимо с подводным гидрорыхлением грунтов, которое осуществляется затопленной струей. Для того чтобы осуществить размыв осадка, необходимо приложить определенное силовое воздействие струи жидкого навоза на уплотненный осадок. Степень этого воздействия можно оценить мощностью струи, внедряемой в осадок при его размыве. В статье приведены результаты теоретических исследований по определению мощности струи потока жидкого навоза, необходимой для размыва осадка.*

*Ключевые слова:* миксер, кожух, диаметр, мощность, скорость струи, сила струи, поток, навоз, перемешивание, сопло.

*Sludge washout in the manure storage is carried out under a layer of liq-uid manure fraction, which can be compared with underwater hydraulic loos-ening of soils, carried out by a flooded jet. In order to carry out the sludge washout, it is necessary to apply a certain force effect of a stream of liquid ma-nure on the compacted sludge. the degree of this effect can be estimated by the jet power introduced into the sediment during its washout. The article presents the results of theoretical studies to determine the power of the jet stream of liq-uid manure necessary for the washout of sediment.*

*Key words:* mixer, casing, diameter, capacity, jet speed, jet force, flow, manure, mixing, nozzle.

### Введение

В 2021 году постановлением Совета Министров Республики Беларусь утверждена государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы.

Среди основных задач программы – развитие производства органической продукции и снижение негативного воздействия химических препаратов, гормонов роста, антибиотиков на окружающую среду и здоровье людей [1].