

**О.П. ВОДЧЕНКО**, инж., НТУ «ХПИ», м. Харків

## **КРАНОВЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ**

У статті розглянуто кранове гусеничне шасі з пружною підвіскою опорних котків. Докладно розглянуто рівняння безрозривності гусеничного обводу. На основі цього рівняння одержані узагальнені залежності процесу переїзду колоди. Теорія стверджена експериментальними дослідженнями.

In article it is considered crane the caterpillar chassis with an elastic suspension bracket of basic Roller. The equation of indissolubility of caterpillar contour is in detail considered. On the basis of this equation the generalized dependences of process of moving of a log are received. The theory is confirmed by tests.

**Постановка проблемы в общем виде.** Совершенствование гусеничных шасси как для тихоходных, так и для быстроходных крановых систем требует разработки новых теоретических зависимостей, позволяющих рассчитывать совершенствуемые узлы и детали. Известные [1] аналитические зависимости недостаточно полно описывают работу гусеничного движителя. Новые, более общие, аналитические зависимости позволяют эффективно анализировать работу большего круга гусеничных движителей. Теория подтверждается испытаниями.

**Связь проблемы с важными научными или практическими заданиями.** Нахождение аналитических зависимостей для оценки влияния препятствий на гусеничный движитель, позволяет сформировать обобщенные зависимости для широкого круга гусеничных машин.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато чрешение данной проблемы и на которые опирается автор.** В работе [2] найдены обобщенные зависимости (уравнение неразрывности гусеничного обвода), позволяющие видеть картину напряженности участков гусеничного обвода растягивающими силами от положения контурных элементов обвода.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается эта статья.** Найденные [2] зависимости натяжений участков от перемещений элементов обвода хороши, однако не полностью подтверждены экспериментально.

**Формулировка целей статьи.** Цель статьи - получить обобщенные зависимости для описания процесса преодоления препятствий типа «бревно» и проверить их экспериментально.

В качестве объекта аналитических и экспериментальных исследований используем гусеничную машину Mors. Машина технической помощи МТП (Mors) оборудована кран-стрелой грузоподъемностью до 1,5 т. [3].

Опытный образец машины Mors с добавленными поддерживающими роликами позволил получить обобщенный образец гусеничного движителя.

Разложим каждый гусеничный обвод на совокупность двух обводов: реального гусеничного обвода (ГО) и предельного обвода (ПО).

Реальный гусеничный обвод, в дальнейшем – гусеничный обвод, образован гусеничной цепью ГЦ (см. рис. 1), огибающей контурные элементы гусеничного движителя. Контурные элементы это: ведущее колесо ВК, направляющее колесо НК, опорные катки (ОК) 1, 2, 3, 4, 5, 6 и поддерживающие катки (ПК) 7, 8, 9. В составе гусеничного обвода выделим замкнутую осевую линию гусеничного обвода, в дальнейшем – линия обвода (ЛО) 10, которая расположена в вертикальной плоскости посередине между двумя венцами 11 ведущего колеса ВК и проходит по осям 12 шарниров гусеничной цепи ГЦ. Для удобства расчета участки линии обвода на ветвях огибания гусеничной лентой контурных элементов будем заменять дугами 13, 14, 15, 16, проходящими через оси шарниров гусеничной цепи, а на ветвях провисания гусеничной цепи - участками провисания 17. При этом, линия обвода наделена свойствами гусеничной цепи – весом, свойствами гибкой нити и продольной упругостью.

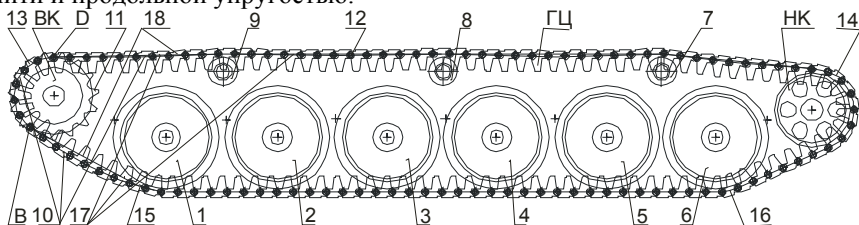


Рис. 1. Схема звенчатого гусеничного обвода, объединяющая понятия реального гусеничного обвода и предельного обвода

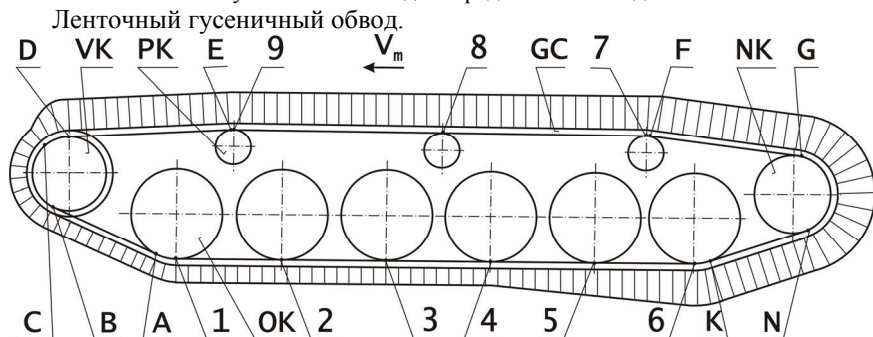


Рис. 2. Схема нагруженности гусеничного обвода усилиями растяжения гусеницы

Весь гусеничный обвод можно представить состоящим из опорной ветви "1-6", верхней ветви GF789ED, передней АВ и задней KN наклонных ветвей связывающих их дуговых ветви: передней VCD и задней HG поворотных, а также передней "1А" и задней "6К" нижних.

Предельный обвод (ПО) – условный параметр, представляющий условную замкнутую линию 18, образованную невесомой нерастяжимой нитью, проходящую через оси 12 шарниров гусеничной цепи ГЦ, огибающих контурные элементы ГО. Также предельный обвод можно представить как замкнутую осевую линию условного невесомого гусеничного обвода, огибающего те же контурные элементы, что и реальный ГО. Дуговые ветви 13, 14, 15 и 16 предельного обвода и реального гусеничного обвода совпадают.

В расчетах звенчатый гусеничный обвод, показанный на рис. 1, заменим на ленточный гусеничный обвод, показанный на рис. 2 с сохранением свойств звенчатого ГО.

Описывая реальные зависимости внутри участков ГО в соответствии с законом Гука можно записать в соответствии с рис. 1 и 2 условие неразрывности гусеничного обвода в общем виде [4].

$$\sum_{i=1}^n (L_i + \Delta S_i)(1 - e \cdot T_i) = S_{\Pi} \quad (1)$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го участка ПО;

$\Delta S_i$  – приращение  $i$ -го участка гусеничного обвода, обусловленное его провисанием под действием веса;

$e$  – относительная продольная податливость гусеничной цепи;

$T_i$  – усилие растяжения  $i$ -го участка гусеничного обвода;

$S_{\Pi}$  – исходная длина нерастянутого гусеничного обвода;

$n$  – число  $i$ -х участков, составляющих гусеничный обвод.

Здесь величина  $S_{\Pi}$  характеризует длину гусеничной цепи, разостланной на ровной поверхности с предварительно выбранными по длине зазорами в шарнирах траков гусеничной цепи, перед ее одеванием на контурные элементы гусеничного обвода.

Величины  $T_i$  характеризуют реальные значения растягивающих усилий на участках гусеничного обвода в каждый момент времени.

Составляющая  $eT_i$  характеризует упругие продольные свойства гусеничной цепи на каждом из участков гусеничного обвода.

Составляющая  $\Delta S_i$  характеризует превышение длины ГО над ПО в местах провисания гусеничной цепи. Это увязывает погонную массу гусеничной цепи, длины пролетов провисающих участков и усилия растяжения в них, которые обусловлены: геометрией ГО, длиной  $S_{\Pi}$  и упругими свойствами гусеницы – усилие  $T_n$ , а также внутренними передающимися в ГО усилиями от ведущего колеса к опорной ветви ГО – усилие  $T_r$ .

Раскрывая значения каждой из составляющих выражения (1), можно записать уравнение неразрывности для реального гусеничного обвода исходя из рис. 1 и 2. Для этого определяем значение  $S_{\Pi}$  один раз для гусеничного обвода неподвижного гусеничного движителя с предварительно натянутым

гусеничным обводом, а второй раз – для движущегося гусеничного движителя и приравниваем их.

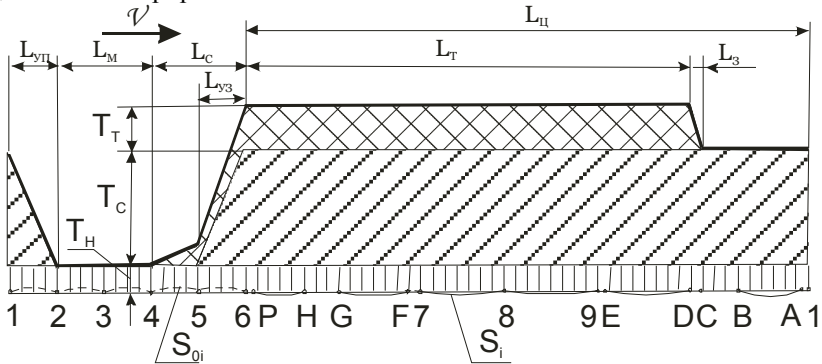


Рис. 3. Диаграмма нагруженности гусеничного обвода растягивающими усилиями при движении гусеничного движителя вперед ведущим колесом со скоростью  $v$ .

В соответствии с диаграммой нагруженности различных участков ГО на рис. 2, уравнение неразрывности ГО будет следующим [4]

$$\begin{aligned}
 & (L_{\Pi} + \Sigma \Delta S_{\Pi})(1 - e^{-T_{\Pi}}) = \\
 & = L_{yП} [1 - e^{-(T_H + T_{\Pi}/2)}] + L_M [1 - e^{-T_H}] + \\
 & + (L_C - L_{y3}) \{1 - e^{-(T_H + T_T(L_C - L_{y3})/2L_C)}\} + \\
 & + L_{y3} \{1 - e^{-(T_H + T_{\Pi}/2 + T_T(2L_C - L_{y3})/2L_C)}\} + \\
 & + (L_T + \Sigma \Delta S_T) [1 - e^{-(T_H + T_{\Pi} + T_T)}] + \\
 & + L_3 [1 - e^{-(T_H + T_{\Pi} + T_T/2)}] + (L_{ц} - L_T - L_3 + \Sigma \Delta S_H) [1 - e^{-(T_H + T_{\Pi})}]
 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $T_{\Pi}$  – усилие растяжения предварительно натянутого гусеничного обвода;

$T_H$  – усилие растяжения нерабочего участка гусеничного обвода;

$T_T$  – тяговое усилие в гусеничном обводе;

$T_C$  – усилие растяжения гусеничного обвода, обусловленное действием на гусеничный обвод центробежных сил от движущихся по дуговым и пролетным участкам гусеничного обвода траков гусеницы;

$L_{\Pi}$  – периметр предельного обвода, обуславливающий предварительное натяжение гусеничного обвода;

$L_{yП}$  – длина уравновешивающего переднего участка опорной ветви предельного обвода;

$L_M$  – длина межвого участка опорной ветви предельного обвода;

$L_{y3}$  – длина уравновешивающего заднего участка опорной ветви предельного обвода;

$L_C$  – длина сцепного участка опорной ветви предельного обвода, на которой реализуется передача тягового усилия от ведущего колеса к поверхности грунта;

$L_T$  – длина тягового участка предельного обвода;

$L_3$  – длина зацепного участка предельного обвода, на котором крутящий момент ведущего колеса преобразовывается в тяговое усилие путем

зацепления ведущего колеса с зацепными элементами траков гусеницы, например, цевками;

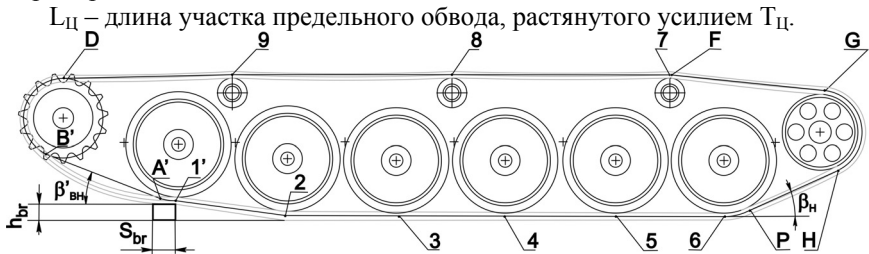


Рис. 4. Схема проезда гусеничной машиной препятствия “бревно”

В этом случае получаем максимально возможное уменьшение конструктивного контура обвода при переезде бревна. Величина этого изменения в соответствии с рис. 4 определится из выражения

$$\Delta L_{\text{отр}} = S_{\text{ТР}}/2 + R_{\text{Б}}(\cos\gamma_{1\text{T}} - \cos\gamma_{01}) + (R_{\text{ОК}} + R_{\text{Г}})(\beta_{\text{В}} - \beta'_{\text{ВН}}) + L_{\text{В}} + \sqrt{h_{\text{ТР}}^2 + S_{\text{ТР}}^2/4} - L_{\text{Н}} + R_{\text{ВК}}(\beta_{\text{ВН}} - \beta_{\text{В}}) \quad (3)$$

где  $S_{\text{БР}}$  – длина “бревна”;

$L_{\text{Н}}$  – длина участка В'А' конструктивного контура обвода;

$\beta'_{\text{ВН}}$  – угол наклона участка В'А' конструктивного контура обвода.

Величины  $L_{\text{ВН}}$  и  $\beta'_{\text{ВН}}$  определяются по выражениям

$$L_{\text{Н}} = \sqrt{(a_{\text{В}} + R_{\text{Б}} \cos\gamma_{1\text{T}})^2 + (b_{\text{В}} + R_{\text{Б}} \sin\gamma_{1\text{T}})^2 - (R_{\text{ВК}} - R_{\text{ОК}})^2} \quad (4)$$

$$\beta'_{\text{ВН}} = \arctg[(\beta_{\text{В}} + R_{\text{Б}} \sin\gamma_{1\text{T}}) / (a_{\text{В}} + R_{\text{Б}} \cos\gamma_{1\text{T}})] - \arctg[(R_{\text{ВК}} - R_{\text{ОК}} - R_{\text{Г}}) / L_{\text{ВТ}}] \quad (5)$$

где  $\gamma_{1\text{T}}$  – угол наклона балансира переднего опорного катка при наезде последнего на “бревно”.

$$\gamma_{1\text{T}} = \arcsin(\sin\gamma_1 - h_{\text{ТР}}/R_{\text{Б}}) \quad (6)$$

В соответствии с воздействием на гусеничный обвод возмущающего фактора “бревно”, уравнение неразрывности гусеничного обвода (2) видоизменится следующим образом

$$\begin{aligned} (L_{\text{П}} + \Sigma \Delta S_{\text{П}})(1 - e^{-T_{\text{П}}}) &= L_{\text{УПН}}[1 - e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ЦН}}/2)}] + L_{\text{МН}}[1 - e^{-T_{\text{НН}}}] + \\ &+ (L_{\text{СН}} - L_{\text{УЗН}})\{1 - e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ТН}}(L_{\text{СН}} - L_{\text{УЗН}})/2L_{\text{СН}})}\} + \\ &+ L_{\text{УЗН}}\{1 - e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ЦН}}/2 + T_{\text{ТН}}(2L_{\text{СН}} - L_{\text{УЗН}})/2L_{\text{СН}})}\} + (L_{\text{ТН}} + \Sigma \Delta S_{\text{ТН}})[1 - \\ &e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ЦН}} + T_{\text{ТН}})}] + \\ &+ L_{\text{ЗН}}[1 - e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ЦН}} + T_{\text{ТН}}/2)}] + (L_{\text{ЦН}} - L_{\text{ТН}} - L_{\text{ЗН}} + \Sigma \Delta S_{\text{НН}})[1 - e^{-(T_{\text{НН}} + T_{\text{ЦН}})}] \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь величины с дополнительным индексом “н” обозначают изменяющиеся, при переезде через неровность относительно исходного движения гусеничной машины по ровной поверхности, параметры.

Для определения  $T_{\text{НН}}$ , с практически достаточной для последующего синтеза АМНГ точностью, можно считать, что  $V_{\text{МН}} = V_{\text{МТ}}$ ;  $T_{\text{ЦН}} = T_{\text{Ц}}$ ;  $T_{\text{ТН}} = T_{\text{Т}}$ ;  $\Sigma \Delta S_{\text{ТН}} = \Sigma \Delta S_{\text{Т}}$ . Учитывая также из (1) равенство

$$L_{\text{П}} = L_{\text{УПН}} + L_{\text{МН}} + L_{\text{СН}} + L_{\text{ЦН}} + \Delta L_{\text{отр}} \quad (8)$$

уравнение (4) преобразуем к следующему виду

$$\Sigma \Delta S_{\Pi} - e L_{\Pi} T_{\Pi} = \Delta L_{OTP} - \Sigma \Delta S_T - \Sigma \Delta S_{HH} + e [L_{\Pi} T_{HH} + (L_{y\Pi} / 2 + L_{\Pi} + L_{y3} / 2) T_{\Pi} + (L_C / 2 + L_T + L_3 / 2) T_T + \Sigma \Delta S_{HH} (T_{HH} + T_{\Pi})] \quad (9)$$

В этом случае получим уравнение третьей степени для определения усилия  $T_{HH}$  в следующем виде

$$T_{HH}^3 + T_{HH}^2 [\Sigma \Delta S_{\Pi} / e L_{\Pi} - T_{\Pi} + \Delta L_{OTP} / e L_{\Pi} - \Sigma \Delta S_T' / e L_{\Pi} + T_{\Pi} (L_{y\Pi} / 2 + L_{\Pi} + L_{y3} / 2) / L_{\Pi} + T_T (L_C / 2 + L_T + L_3 / 2) / L_{\Pi}] - (qg)^2 \Sigma L_H^3 / 24 e L_{\Pi} = 0 \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) показывают зависимость изменения усилия  $T_{HH}$  растяжения нетягового участка гусеничного обвода одновременно от трех возмущающих факторов: “Неровность типа “бревно”, “Центробежная сила” и “Тяговое усилие”, действующих в гусеничном обводе.

Этот расчетный режим воздействия возмущающих факторов является наиболее характерным для гусеничного кранового шасси. Экспериментальное (см. рис.5) подтверждение выражений (2), (7), (9) и (10) позволяет их использовать для других гусеничных движителей.

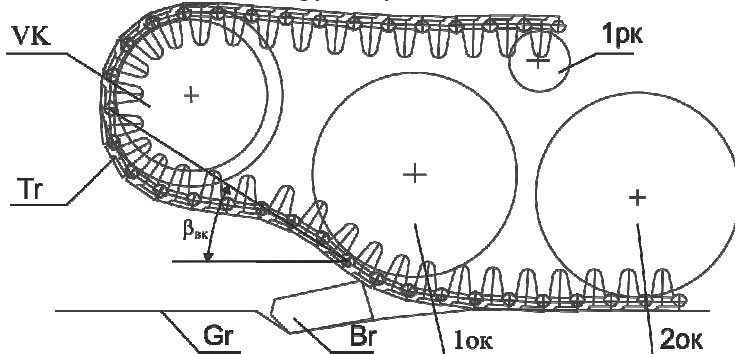


Рис. 5. Нетяговой участок гусеничного обвода при переезде бревна. VK – ведущее колесо, Tr – трак гусеницы, 1ок, 2ок – 1 и 2 опорные катки, 1рк – 1-й поддерживающий каток, Gr – контур грунта, Br – бревно, вдавненное в грунт.

**Выводы.** Уравнение неразрывности гусеничного обвода достаточно универсальный инструмент для анализа гусениц многих кранов [5].

**Список литературы:** 1. В.Ф.Платонов, А.Ф. Белоусов, Н.Г. Олейников, Г.И. Карцев «Гусеничные транспортеры-тягачи», М. «Машиностроение». 1978, 352 с. 2. О.П.Водченко О воздействии центробежных сил на гусеничный обвод движущейся машины. Известия ВУЗов, Машиностроение, №9, Москва, 1984. 3. С.Суворов. Многоцелевой тягач легкий. Январь 2005. Email: [promreality@mail.ru](mailto:promreality@mail.ru). 4. О.П.Водченко Взаимосвязь предварительного натяжения гусеничного обвода с его геометрическими параметрами. Известия ВУЗов, Машиностроение, №6, Москва, 1984. 5. О.В.Григорьев, О.П.Водченко. Современные гусеничные краны. Анализ. Перспективы. Високи технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХП».- Харків, 2006.

Поступила в редколлегию 28.09.2010