

УДК 629.114.2

А.М. Боровских

Боровских Александр Михайлович родился в 1933 г., окончил в 1958 г. Свердловский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса и технического обслуживания транспортных и технологических машин Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 85 печатных работ по исследованию двигателей внутреннего сгорания, автомобилей и ходовой части гусеничных тракторов.



ГУСЕНИЦА С УВЕЛИЧЕННЫМ СЦЕПЛЕНИЕМ

Рассмотрено применение специальной гусеницы, имеющей дополнительные грунтозацепы увеличенной высоты, которые позволяют повысить сцепные качества трактора.

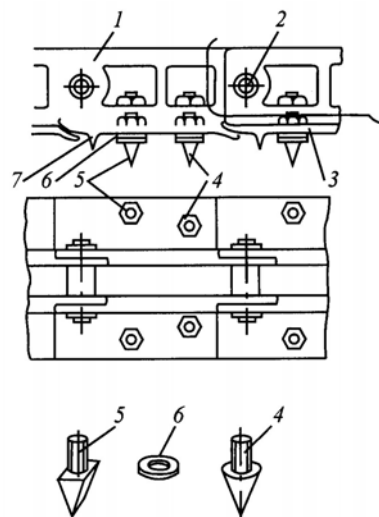
Ключевые слова: гусеница, шипы, грунтозацепы, сцепление.

Производительность машинно-тракторных агрегатов может быть повышена за счет энергонасыщенности тракторов. Мощность двигателя используется полнее при улучшении сцепления с почвой. Чаще всего это достигается увеличением массы трактора или высоты грунтозацепов. С повышением массы трактора растет удельное давление на почву и ее уплотнение, что снижает урожайность зерновых и других сельскохозяйственных культур. Высота зацепов не должна превышать 50 ... 60 мм. При высоких зацепах сильно возрастают потери на перекачивание трактора и падает КПД его двигателя. Если грунт мерзлый, зацепы погружаются в него не полностью и сцепление ухудшается.

В горнорудной промышленности наиболее экономичной считается добыча полезных ископаемых открытым способом, глубина котлована достигает 500 м и более. Но чем глубже карьер, тем длиннее серпантин дороги для вывоза руды. Его можно сделать короче, увеличив угол подъема дороги, однако некоторые машины не могут преодолевать крутой подъем из-за недостаточного сцепления с почвой. Нужны такие гусеницы зацепов, которые впивались бы даже в каменистый грунт или лед и обеспечивали сцепление с дорогой. В УГЛТУ предложена такая гусеница [5], ее схема показана на рис. 1.

В башмаках гусеницы сверлят отверстия, в которые устанавливают специальные шипы. Они сделаны конусообразными с широким основанием, чтобы увеличить прочность и повысить надежность крепления в башмаках. Шипы могут иметь разную форму и быть установлены на другие типы гусениц. Они выступают ниже грунтозацепов, поэтому при движении трактора первыми врезаются в грунт. Так как площадь контакта шипов значительно меньше, чем у зацепов гусеницы, то они, естественно, врезаются и в более твердый грунт. Положение шипов по высоте регулируется шайбами.

Рис. 1. Общий вид гусениц: 1 – звено; 2 – соединительные пальцы; 3 – башмаки; 4 – шипы конусные; 5 – шипы долотообразные; 6 – регулировочные прокладки; 7 – грунтозацепы башмаков



Такие гусеницы можно применять для гусеничных машин, в том числе лесохозяйственных тракторов, работающих на замерзшей почве, при низких температурах и в гористой местности. Они эффективны на обледенелых дорогах, имеющих крутые подъемы и спуски, обеспечивая повышенное сцепление с почвой. В обычных условиях шипы нужно снимать.

Для изучения влияния шипов на сцепление проведены опыты по исследованию тягово-сцепных качеств гусеницы с имитатором звена с игольчатыми зацепами [6]. Они представляли собой стержни диаметром 16 мм и длиной до 100 мм, установленные в башмаки гусеницы с закрытым шарниром. Установлено, что коэффициент сцепления такого имитатора увеличивается в 1,5–2,0 раза. Однако игольчатые зацепы на твердой дороге, особенно при повороте трактора, могут согнуться. Изучено также влияние вертикальных прорезей в зацепе гусеницы на вхождение его в почву и сцепные качества гусеницы. Оказалось, что такие зацепы значительно легче входят в почву, при этом сцепление с грунтом практически не снижается [6]. На основании этих опытов можно утверждать, что предложенная нами гусеница [5] тоже улучшит сцепление с грунтом даже без увеличения массы трактора, но насколько? Для ответа на этот вопрос необходимо сделать расчеты.

Рассмотрим уравнение касательной силы тяги P_k трактора при движении его по горизонтальной дороге [4]:

$$P_k = \mu G + \sigma F,$$

где μ – коэффициент трения стали о почву;

G – эксплуатационная масса трактора;

σ – среднее горизонтальное напряжение почвы, $\sigma = 0,08 \dots 0,10$ МПа;

F – сумма вертикальных проекций упорных поверхностей всех зацепов, находящихся в соприкосновении с почвой.

При установке дополнительных шипов сумма F увеличится на величину F_1 и составит F_2 , т. е.

$$F_2 = F + F_1.$$

Тогда формула P_k примет вид

$$P_k = \mu G + \sigma(F + F_1).$$

Если бы среднее горизонтальное напряжение почвы было одинаковым на всей глубине погружения зацепов и шипов, касательная сила тяги возросла бы незначительно, всего на σF_1 . Однако шипы входят в более глубокие слои почвы, а это обычно глина, у которой σ значительно больше [2]. Поэтому увеличение P_k будет не прямо пропорционально площади F_1 , а намного выше.

И.А. Забавников [3] утверждает, что «на очень твердых каменистых грунтах работа шпоры в корне отлична от предыдущих условий движения. Высокие удельные давления на шпорах вызывают местное разрушение грунта и весьма незначительное внедрение их в грунт». Это же наблюдается и при работе тракторов на мерзлых грунтах. Так, при температуре 0°C сопротивление мерзлых глинистых грунтов сжатию ($\sigma_{сж}$) составляет 6 МПа [1], что в 600 раз больше среднего горизонтального напряжения почвы.

Таким образом, даже при погружении в почву только шипов гусеницы, а не ее зацепов касательная сила тяги будет обеспечена за счет высокого допустимого среднего горизонтального напряжения замерзшей почвы, на которую воздействуют шипы. Увеличение касательной силы тяги происходит не за счет упорной площади шипов, а благодаря увеличению среднего горизонтального напряжения почвы или льда.

При проектировании такой гусеницы важно хотя бы приблизительно определить число шипов и их расположение. Эти параметры связаны с типом грунта, его твердостью и многими другими факторами.

Примем следующие условия и допущения.

1. Базовый трактор Т-130 М, ширина гусеницы 500 мм, высота зацепов 60 мм.

2. Грунт – сухая глина и замерзшая почва.

3. Высота шипов, выступающих над зацепами, $h = 20$ мм, ширина $b = 40$ мм, в каждом башмаке по два шипа. Шипы долотообразные, угол при вершине 30° .

4. Масса трактора 14 т.

5. При движении по сухой глине зацепы гусеницы погружаются на 30 мм.

6. При движении по замерзшей дороге в почву погружаются только шипы.

7. Коэффициент трения стали о почву $\mu = 0,6$.

а) Движение по сухой плотной глине.

Подсчитаем касательную силу тяги трактора по формуле

$$P_k = \mu G + \sigma_0 F,$$

где $\mu = 0$, так как по условию плоскость башмака не касается почвы, зацепы высотой 60 мм погружены всего на 30 мм; σ_0 берем в среднем 3,92 МПа [2],

потому что трактор находится не на пашне, а на дороге. Тогда упорная площадь зацепов гусеницы составит $F_3 = 50 \cdot 3 \cdot 24 = 3600 \text{ см}^2$, где 50 – ширина гусеницы; 3 – глубина погружения зацепа в почву; 24 – число зацепов в почве. Значит,

$$P_3 = 3,92 \cdot 3600 = 141,12 \text{ кН.}$$

К этой величине надо добавить силу сцепления 48 шипов (по 2 шт. на башмаке):

$$P_{\text{ш}} = 3,92 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 48 = 15 \text{ кН.}$$

Итого

$$P_{\Gamma} = P_3 + P_{\text{ш}} = 156,12 \text{ кН.}$$

В этих формулах P_3 , $P_{\text{ш}}$, P_{Γ} – силы сцепления с почвой соответственно зацепов, шипов и гусеницы.

б) Движение по замерзшей дороге, когда в почву не могут погрузиться зацепы, а входят только шипы, зацепы гусеницы не скользят по поверхности почвы. Тогда $P_{\text{к}}$ трактора равна упорной силе тяги, создаваемой шипами ($P'_{\text{ш}}$):

$$P'_{\text{ш}} = \sigma_{\text{сж}} F_1,$$

где F_1 – упорная площадь всех погружившихся шипов.

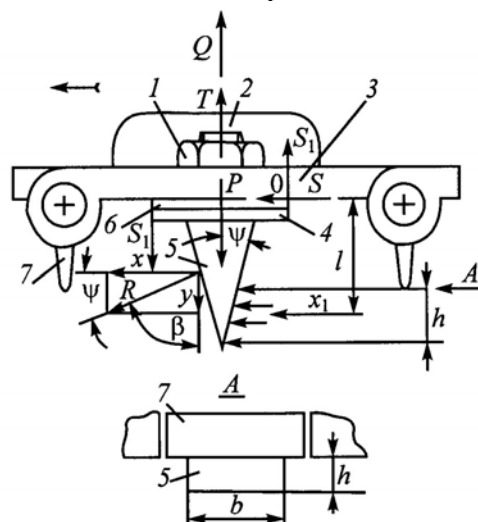
Если $F_1 = 2 \cdot 4 \cdot 48 = 384 \text{ см}^2$, то $P'_{\text{ш}} = 384 \cdot 6 = 230,4 \text{ кН}$.

Таким образом, и при замерзшей дороге шипы будут обеспечивать сцепление гусеничной машины с почвой.

Прочностные расчеты шипа производят по обычным законам и формулам сопротивления материалов и механики; расстановка сил, размеры шипа и его углы даны в тексте и на рис. 2.

Применение шипов проверено для других машин, везде они увеличивают сцепление с почвой, льдом, укатанной снежной дорогой.

Рис. 2. Схема сил, действующих на шип: 1 – гайка; 2 – ребро звена; 3 – звено; 4 – основание шипа; 5 – шип; 6 – регулировочные прокладки; 7 – грунтзацеп звена



Остаются опасения, что будет возрастать мощность на передвижение гусеничной машины. Однако это увеличение пропорционально площади зацепов гусеницы и шипов. Упорная площадь одного зацепа гусеницы равна $50 \cdot 6 = 300 \text{ см}^2$, а площадь шипов всего $2 \cdot 4 \cdot 8 = 64 \text{ см}^2$, т. е. примерно 21 %. Это относится к рыхлой почве, когда погружаются все зацепы гусеницы; в мерзлой почве процент еще меньше.

В июле 2006 г. в опытном учебном хозяйстве «Уралец» Уральской государственной сельскохозяйственной академии проведены испытания влияния шипов на коэффициент сцепления с почвой. Для этой цели изготовлено устройство в виде двух деревянных продольных балок сечением $5 \times 10 \text{ см}$, длиной 100 см, в каждой из которых просверливали по два отверстия диаметром 16 мм для крепления звеньев гусеницы. В звеньях прожигали сваркой по два отверстия диаметром 16 мм. Затем балки и звенья соединяли с помощью болтов, имеющих на концах приваренные пластинки в виде шипов. На полученную таким образом платформу, обращенную шипами к пашне, ставили 3 мешка с землей для создания нагрузки, всего вместе с платформой 220 кг. Испытывали устройство-платформу с тремя видами шипов (размером 5×5 , $6 \times 6 \text{ см}$ и конические диаметром 16 мм) и просто с зацепами звеньев, следовавших один за другим. Почва – чернозем, вспаханная и забороненная. Тяговое средство – трактор МТЗ-80, измерительное – динамометр с пределами измерения 0 ... 500 кг, скорость движения 1 ... 6 км/ч.

Результаты испытания показали, что при скорости 6 км/ч коэффициент сцепления платформы с обычными звеньями составил 0,6 ... 0,7; с шипами $6 \times 6 \text{ см}$ – 1,2 ... 1,3; $5 \times 5 \text{ см}$ – примерно 1,2; с коническими шипами коэффициент возрос несущественно, в пределах погрешности измерения.

Выводы

Применение шипов в гусеницах обосновано и эффективно в особых условиях: гололед, замерзшая почва, укатанная снежная дорога, каменистый грунт. В обычных условиях при хорошем сцеплении их нужно снимать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов [Текст] / В.Ф. Бабков, А.В. Гербурт, А.В. Гейбович. – М.: Высш. шк., 1964. – 366 с.
2. Велев, Н.И. Теория [Текст] / Н.И. Велев [и др.]; под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
3. Забавников, И.А. Основы теории транспортных гусеничных машин [Текст] / И.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1961. – 396 с.
4. Львов, Е.Д. Теория трактора [Текст] / Е.Д. Львов. – М.: Машгизиздат, 1960. – 252 с.
5. Пат. 47841 Российская Федерация, МПК⁷ В 62 D 55/20. Гусеница [Текст] / Боровских А.М., Кучумов Е.Г.; заявл. 30.03.05; опубл. 10.09.05, Бюл. № 25.
6. Янсон, Л.А. Исследование тягово-сцепных свойств имитатора звена гусеницы с игольчатыми грунтозацепами [Текст] / Л.А. Янсон, А.П. Пильченков // Ре-

зервы повышения эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов. – Челябинск, 1986. – 114 с.

Уральский государственный
лесотехнический университет

Поступила 21.08.06

A.M. Borovskikh

Track with Increased Adhesion

The use of special track possessing additional lugs of increased height allowing to increase adhesion qualities of a tractor is considered.
