

95  
автор

**В. Х. АМБАРЦУМЯН**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОЛЗАНИЯ ГУСЕНИЧНОГО  
ХОДА НА СКЛОНАХ**

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель—доктор техни-  
ческих наук, профессор С. С. СААКЯН

Социалистическое сельское хозяйство СССР является самым крупным и наиболее механизированным сельским хозяйством в мире.

С каждым годом наше сельское хозяйство все более оснащается машинами новейших конструкций с высокими техническими и экономическими показателями.

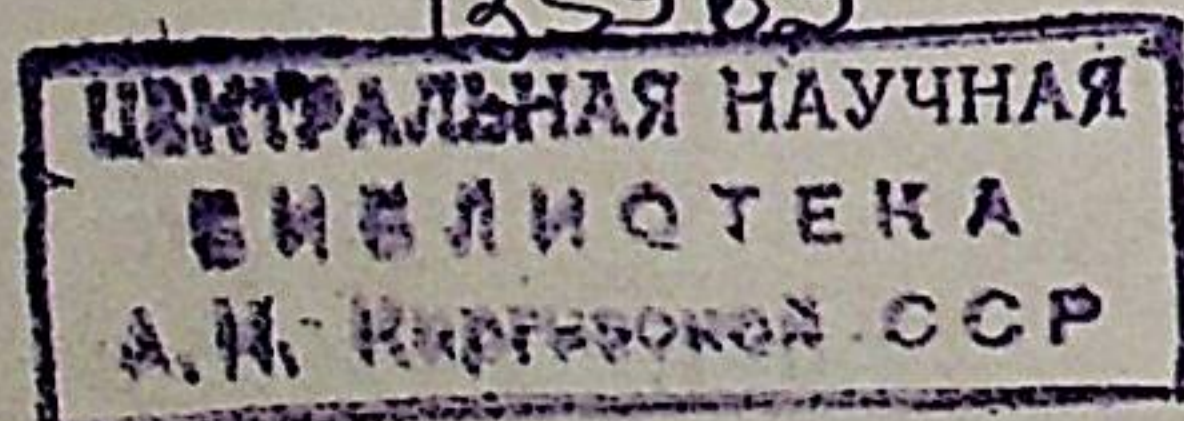
В решениях Сентябрьского пленума ЦК КПСС говорится: „До сих пор не создана система машин, которая обеспечивала бы комплексную механизацию возделывания сельскохозяйственных культур с учетом разнообразных природных и хозяйственных условий различных зон страны“.

Это целиком относится к способам обработки почвы на склонах, где условия работы машин намного сложнее, чем на горизонтальных участках. Между тем удельный вес склонов во всей площади освоенных сельским хозяйством земель очень велик. Акад. В. П. Мосолов утверждает, что 50% наших посевов расположены на склонах, а в ряде районов склоны занимают сплошь всю территорию.

Работа гусеничного трактора на склонах характеризуется рядом специфических явлений, которые до сих пор основательно не изучены.

Склон и сопротивляемость почвы—два важнейших фактора, неразрывно связанных друг с другом, в том или ином сочетании создают конкретные условия работы тракторного агрегата.

Эффективное использование тракторов и сельскохозяйственных машин в основном зависит от успешного изучения



поведения этих машин в разных производственных условиях.

Условия работы тракторного агрегата на одном и том же участке склона меняются в зависимости от направления движения.

Направление движения тракторного агрегата поперёк склона является наиболее приемлемым с точки зрения агротехники, но в смысле потери устойчивости, является самым опасным.

Поэтому вопросы сползания гусеничного трактора при работе поперёк склона должны стать предметом специальных исследований.

Вопрос взаимодействия тракторных гусениц и почвы на склонах до сих пор еще не нашёл надлежащего освещения. В 1938 г. профессор А. Д. Халкипов и в 1953 г. проф. Е. Д. Львов писали, что вопрос взаимодействия ведущих ходовых органов трактора и почвы требует широкого экспериментального изучения.

На совещании по проходимости колёсных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам, созванном в 1948 году Институтом Машиноведения Академии Наук СССР, этот вопрос так же рассматривался как первоочередной, подлежащий разрешению в ближайшие годы.

Основные теоретические положения о работе трактора на склонах решены с недостаточной полнотой. Изучением этого вопроса впервые занялся И. И. Бойко. Однако его труды касались вопросов эксплуатации.

Изучением работы трактора на склонах более подробно занимался доктор технических наук проф. Р. Р. Двали, который производил экспериментальные исследования на горных склонах Грузинской ССР. Проф. Р. Р. Двали подробно изучил динамические зависимости работы трактора на склонах и сделал ценные выводы по этим вопросам.

В 1955 г. В. М. Шевелев исследовал тяговые свойства трактора на приовражных склонах лесостепи Украинской ССР. Путём эксперимента он установил максимальные углы

склонов местности, на которых практически возможно использование трактора ДТ-54.

В трудах упомянутых авторов не нашёл освещения вопрос о взаимодействии тракторной гусеницы и почвы, как и другие узкие вопросы, имеющие теоретическое и эксплуатационное значение.

В настоящей работе исследуется сползание гусеничного трактора на склонах с целью выяснения основных факторов влияющих на сползание трактора.

Экспериментальная часть диссертации включает лабораторные и полевые исследования вопросов.

Методика и описание опытов приводятся в соответствующих разделах диссертации.

## ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ СПОЛЗАНИЯ

При движении гусеничного трактора поперёк склона теряется устойчивость в направлении движения, т. е. трактор отклоняется от первоначального направления в сторону спуска. Отклонение трактора происходит за счёт следующих факторов: сползания трактора за счёт скольжения ходовых органов, влияния почвенных условий на устойчивость направления движения трактора по склону, повараживающего момента от поперечных сил действующих на трактор, и от разницы буксования гусениц.

Процесс сцепления гусеничного башмака с почвой осуществляется: трением башмака о почву и зацеплением выступающих частей гусеничных башмаков, сопровождающимся прессованием почвы по направлению склона. Сила зацепления зависит от боковых поверхностей гусеничных башмаков, погруженных в почву. Поперечное усилие сдвигающее гусеницы передается почве боковыми площадками башмаков. Эти площадки, в случае погружения в почву на полную их высоту, должны по своим размерам быть достаточными, чтобы целиком уравновешивать сдвигающую силу

Условия статического равновесия выразится системой уравнения

$$\frac{G \cdot \sin \alpha}{i} = N + \mu \cdot Y$$

$$\frac{G \cdot \cos \alpha}{i} = Y$$

где  $G$  — вес трактора

$Y$  — реакция почвы на опорную поверхность башмака

$N$  — Реакция почвы на боковую поверхность башмака

$\mu Y$  — сила трения

$i$  — количество гусеничных звеньев, находящихся в сцеплении с почвой.

$\mu$  — коэффициент трения между гусеницами и почвой.

так как  $\mu = \operatorname{tg} \varphi$

где  $\varphi$  — угол трения

тогда получаем

$$G \cdot \sin \alpha - G \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi - N \cdot i = 0$$

При отсутствии боковой реакции, и  $\alpha = \varphi$  будем иметь  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$ , т. е. скольжения не будет.

При  $\alpha = \varphi + \beta$  произойдет скольжение гусениц, тогда имеем

$$N \cdot i = G \cdot \sin (\varphi + \beta) - G \cdot \cos (\varphi + \beta) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

откуда получаем

$$N \cdot i = \frac{G \cdot \sin \beta}{\cos \varphi}$$

Боковую реакцию можно выразить формулой смятия грунта

$$N = F_6 \cdot C_6 \cdot h^k \cdot \frac{1}{i}$$

Подставляя значения  $N$  в предыдущую формулу и решая относительно  $h$ , получаем формулу, по которой определяем величину скольжения гусениц по склону в зависимости от приращение угла склона.

$$h = k \sqrt{\frac{G \cdot \sin \beta}{C_6 \cdot F_6 \cdot \cos \varphi}}$$

Экспериментальное определение величины скольжения трактора за счёт скольжения ходовых органов весьма затруднительно так как на величину скольжения трактора одновременно влияют несколько факторов.

Величины скольжения трактора за счёт скольжения ходовых органов определяли лабораторными исследованиями и аналитическим путем, причём исходные данные для аналитического определения величины скольжения, т. е. коэффициенты  $C_6$ ,  $K$  и  $\mu$  брали из данных эксперимента для каждого конкретного случая отдельно.

$\beta^\circ$	$\mu$	$\frac{C_6}{\text{к}^2 \text{ см}^3}$	$K$	$\varphi^\circ$	$h = k \sqrt{\frac{G \cdot \sin \beta}{C_6 \cdot F_6 \cdot \cos \varphi}}$ м. м.	$h$ по опытам м. м.
2	0,36	2,5	0,6	20	0,11	0,1
4	0,36	2,5	0,6	20	0,36	0,4
6	0,36	2,5	0,6	20	0,69	0,9
8	0,36	2,5	0,6	20	1,12	1,2
10	0,36	2,5	0,6	20	1,61	1,7

Сопоставление аналитических данных с данными эксперимента полностью, подтверждает наши теоретические анализы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что до предела угла склона  $15^\circ - 16^\circ$  нет скольжения трактора за счёт скольжения ходовых органов не бывает.

Вопрос о влиянии почвенных условий на направление движения трактора по склонам впервые изучается нами. Эти условия являются самыми активными факторами, отклоняющие трактор от первоначального его направления при движении поперёк склона.

У всех сельскохозяйственных тракторов почвозацепы имеют определенную высоту. Для залегания звеньев на почву необходимо, чтобы почвозацепы полностью погружались в почву. При залегании звеньев гусениц на почву последняя подвергается некоторой деформации, размер которой будет зависеть от удельного давления на опорную поверхность, от свойств почвы и её агротехнического состояния.

Для анализа процесса погружения шпоры в почву примем, что давления по длине опорной поверхности гусеницы распределены равномерно.

Если трактор движется по горизонтальному участку пути, то на звено, находящееся на опорной поверхности, действует сила от веса трактора нормально к поверхности пути и растягивающая сила параллельно поверхности пути (в обратную сторону движения трактора). Равнодействующая всех сил, действующих на звено, направлены назад под некоторым углом к вертикали. Величина этого угла очевидно будет зависеть от растягивающей силы звена. В этих случаях деформации почвы не может влиять на устойчивость направления движения трактора.

Другая картина получается, когда трактор движется поперёк склона. В этом случае в пределах опорной поверхности звена под действием силы  $G \cdot \cos\alpha$  стремится сжаться по направлению оси, перпендикулярной к опорной поверхности, под действием силы  $G \cdot \sin\alpha$  стремится сжаться в сторону уклона а под действием растягивающего усилия почва стремится сжаться по направлению оси параллельной продольной оси трактора в обратную сторону движения.

Как показывают экспериментальные исследования А. С. Антонова и А. М. Баланцева растягивающие усилия в звене по обводу гусеничной цепи различно по величине. В передаче тягового усилия от гусеничной цепи на грунт участвуют не все звенья опорной поверхности цепи, а лишь только часть их. Основываясь свои экспериментальные данные А. С. Антонов указывает, что касательные реакции грунта уравновешивают силы натяжения не на всей длине опорной

ветви, а лишь на её небольшом участке. Остальной участок опорной ветви свободен от касательных реакций грунта, а следовательно он не натянут.

Следовательно можно допустить, натяжение гусениц заметного влияния не оказывает на процессе погружения шпоры в почву. Поэтому процесс погружения шпоры в почву рассматриваем не учитывая натяжения гусениц.

Величину бокового смещения определяем по формуле вдавливания почвы, т. е.

$$h_6 = D_3 \sqrt[k]{\frac{q_6}{c_6}}$$

где  $q_6$  — боковое удельное сопротивление почвы.

$h_6$  — боковое смещение см.

$D_3$  — эквивалентный диаметр боковой поверхности почвозацепа

$c_6, k$  — коэффициенты, характеризующие вдавливание почвы в боковом направлении

подставляя значение  $q_6 = \frac{G \cdot \sin\alpha}{F_6}$

получим 
$$h_6 = D_3 \sqrt[k]{\frac{G \cdot \sin\alpha}{c_6 \cdot F_6}}$$

Коэффициент  $c_6$  характеризует почву при её боковой деформации. Нужно отметить, что его определение связано с некоторыми техническими затруднениями и более удобно заменить его коэффициентом  $c$ , формулы сопротивления почвы вдавлванию в вертикальном направлении.

Результаты произведенных многочисленных опытов показывают следующую связь:

$$c = m \cdot c_6 : \quad \text{где } m = 1,5 \div 2,0$$

тогда 
$$h_6 = D_3 \sqrt[k]{\frac{m \cdot G \cdot \sin\alpha}{c \cdot F_6}}$$

Заменяя  $h_6$  через  $h_{ш} = \frac{h_6}{\tan\alpha}$  определяем величину боковой опорной поверхности почвозацепа

$$F_6 = \frac{m \cdot D_3^k \cdot G \cdot \sin \alpha}{c \cdot h_{ш}^k \cdot \operatorname{tg}^k \alpha}$$

Для того, чтобы после полного погружения почвозацепов в почву боковая деформация прекратилась, необходимо соблюдать следующее условие

$$F_6 \geq \frac{m \cdot D_3^k \cdot G \cdot \sin \alpha}{c \cdot h^k \cdot \operatorname{tg}^k \alpha}$$

Чтобы создать боковые упорные поверхности нужно установить на звеньях гусениц боковые почвозацепы.

Эксперименты с различными формами поверхностей показывают, что наиболее рациональными, с точки зрения не прилипания влажной почвы к звеньям является полуэллиптическая форма.

Боковая деформация почвы в сторону уклона, получающаяся в результате полного погружения почвозацепов, оказывает большое влияние на устойчивость направления движения трактора.

В пределах определенного отрезка пройденного трактором пути величина бокового смещения с учетом периодичности смещения звеньев определяется из уравнения

$$Y = \frac{S}{l} \cdot D_3^k \sqrt{\frac{m \cdot G \cdot \sin \alpha}{c \cdot F_6}}$$

Где:  $S$  — пройденный трактором путь

$l$  — шаг гусеничного звена

Для подтверждения сделанных нами теоретических анализов, проводились лабораторные исследования в почвенной траншее

*Из приведенной ниже таблицы видно, что расчетные данные совпадают с опытными*

Угол наклона	$h_6$ мм (опытн.)	$h_6 = D_3^k \sqrt{\frac{1,5 \cdot G \cdot \sin \alpha}{c \cdot F_6}}$ В м. м.
10	9,9	10,0
15	15,0	15,4
20	18,5	19,7

В результате перераспределения веса трактора на гусеницах ( $Q_1$  и  $Q_2$ ) получается некоторая разница в сопротивлении перекачиванию гусениц, поэтому возникает момент, поворачивающий трактор.

Кроме этого, на трактор действует поворачивающий момент поперечной силы  $G \cdot \sin \alpha$ .

На трактор действует также момент сопротивления повороту, возникающий от разности касательных сил тяги гусениц и сил трения и реакции почвы. Общий момент сопротивления повороту равен

$$M_c = (P_2 - P_1) \frac{B}{2} + \frac{\mu \cdot G \cdot \cos \alpha \cdot L}{4} \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot x_0}{L} \right)^2 \right]$$

Как указывает проф. Р. Р. Двали, у трактора с бортовыми фрикционами, поворачивающий момент не может вызвать соответствующий поворот трактора, так как этот момент почти уравновешен стабилизирующим моментом.

Другая картина получается у трактора с дифференциальным механизмом поворота. Здесь касательные силы тяги гусеницы всегда остаются равными независимо от угла уклона, поэтому трактор поворачивается в сторону спуска под действием поворачивающего момента.

Буксование является результатом потери скорости трактора за счет горизонтальной деформации почвы под действием шпор гусениц.

Все существующие до сих пор теоретические формулы по буксованию относятся к движению трактора по горизонтальному участку при этом вследствие того, что вес трактора распределяется на гусеницах равномерно, в условиях прямолинейного движения трактора и при однородном составе почвы гусеницы имеют одинаковое буксование. Эти формулы не могут быть применимы для анализа процесса буксования при движении трактора поперек склона.

Если движению трактора в горизонтальном направлении буксование гусениц вызывает потери мощности и скорости,

то при движении трактора поперек склона, кроме указанных потерь, буксование влияет также на направление движения трактора, т. е. трактор отклоняется по уклону.

Анализируя процесс буксования трактора на поперечном склоне получаем выражения определяющие потери от буксования

$$\delta_{ск} = 2 \cdot \frac{P_k - \mu \cdot G (\cos \alpha + \sin \alpha)}{C \cdot F_b \cdot L (1 + \mu^2)}$$

где  $P_k$  — касательная сила тяги трактора,

$\mu$  — коэффициент трения между звеньями и почвой,

$F_b$  — вертикальная упорная поверхность шпор

$C$  — коэффициент, характеризующий механические свойства почвы,

$L$  — длина опорной поверхности гусениц.

Из формулы видно, что при установившейся работе трактора поперёк склона потери от буксования меньше, чем на горизонтальном участке. Следует однако, отметить, что режим работы тракторного агрегата на поперечном склоне не постоянен, так как движение сопровождается поворотом трактора то в сторону спуска, то в сторону подъема. Поэтому, потери от буксования получаются намного больше, чем при работе трактора на горизонтальном участке.

Для подсчёта величины буксования трактора при его тяговых испытаниях в поперечном направлении склона, использовали предложенную проф. Р. Р. Двали формулу

$$\delta = 1 - \frac{S_1}{l \cdot z \cdot n}$$

где  $S$  — действительный путь, пройденный за полуопыт в мт.

$n$  — суммарное число оборотов ведущих колёс за время полуопыта на пути.

Кроме того, при испытании трактора удобно определять величины буксования отдельных гусениц и их разность, так как разностью коэффициентов буксования обуславливается степень потери устойчивости направления движения трактора или величина отклонения трактора от первоначального направления.

При испытании тракторов разность коэффициентов буксования гусениц можно определить из следующего выражения

$$\Delta \delta = \frac{S_2 - S_1}{l \cdot z \cdot n}$$

где  $S_2$  — действительный путь, пройденный верхней гусеницей за полуопыт в мт.

$S_1$  — действительный путь, пройденный нижней гусеницей за полуопыт в мт.

Полученная формула, определяющая разность коэффициентов буксования гусениц, применима для гусеничного трактора с бортовыми фрикционами при движении на поперечном склоне, так как в этом случае ведущие колёса трактора вращаются с одинаковым числом оборотов.

Полевые испытания тракторов на различных уклонах показывают, что с увеличением угла уклона разность коэффициентов буксования гусениц возрастает.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ И ИХ АНАЛИЗЫ

### Сопротивление почвы вдавлению

Характер взаимодействия гусениц трактора с почвой определяет ходовые качества трактора. Без знания свойств почвы и характера ее взаимодействия с гусеницами трактора невозможно составить понятие об основных законах движения гусеничных машин.

При взаимодействии гусениц с почвой наблюдается ряд явлений. Количественное выражение закономерности этих явлений, их взаимная связь, их зависимость от форм и размеров воздействующих на почву поверхностей и сил остаются до сих пор нерешенными вопросами. Количественные изменения этих явлений, в основном, зависят от величины и характера протекания деформаций почвы. Недостаточно изучена так же взаимосвязь между площадью давления, глу-

биной и удельным сопротивлением вдавливания твердого тела и почву. Этот вопрос имеет большое теоретическое и практическое значение для расчета опорных поверхностей гусеничных звеньев и колес машин.

В земледельческой механике имеется одно основное уравнение сопротивления почвы смятию  $q = ch^k$ , где  $q$  — удельное давление на почву,  $h$  — глубина смятия,  $c$  и  $k$  — постоянные.

Вопрос влияния формы площади, передающей давления штампа, на глубину и сопротивление вдавливанию в почву, пока рассмотрен недостаточно. Наши экспериментальные данные показывают, что коэффициент  $c$  изменяется с изменением диаметра и очертания штампа, так как для одной и той же почвы значение коэффициента  $c$  получается различным при штампах имеющих различное очертание давящей площади.

Экспериментальные данные, полученные при вдавливании почвы штампом круглого очертания, нельзя применять, при расчете таких органов машин, как башмаки гусениц и т. д. Более правильно будет подобрать штампы такого очертания, какое имеют интересующие нас органы машин, под действием которых, почва подвергается деформации.

Для выявления зависимости удельных сопротивлений почвы от очертания штампа проведены многочисленные опыты со штампами пяти различных очертаний. При этом в целях исключения влияния величины площади давления на сопротивление вдавливанию площади штампов выбраны одинаковые, по величине, но различные по очертанию.

Кривые сопротивления вдавливанию показывают несомненную зависимость сопротивления почвы вдавливанию от периметра штампа, т. е. сопротивление вдавливанию пропорционально периметру штампа.

Экспериментальные данные показывают, что зависимость между нагрузкой и деформацией не может считаться степенной, так как коэффициент  $k$  меняется не только с изменением влажности, но и с изменением нагрузки  $q$ . Кроме

того формула  $q = c \cdot h^k$  имеет один существенный дефект, выражающийся в неправильной размерности.

Во избежание этого вместо абсолютной деформации рассматриваются относительные деформации.

Для любой формы поверхности вдавливания относительная деформация может быть выражена уравнением

$$\lambda = \frac{h}{D_э}$$

$$D_э = \frac{4 \cdot F_x}{S_x}$$

где  $S$  — периметр штампа в см.

$F$  — площадь штампа в см<sup>2</sup>.

$D_э$  — эквивалентный диаметр штампа в см.

Обработка экспериментальных материалов по уточненной формуле  $q = c \cdot \lambda^k$  (в логарифмическом виде  $\lg q = \lg c + k \cdot \lg \lambda$ ) показала постоянство  $C$  и  $K$  для глубин действия шпор гусениц, т. е. до 40—50 мм.

При движении трактора по поперечному склону почва подвергается деформации шпорами гусениц по трем направлениям: перпендикулярному к поверхности пути, параллельному поверхности пути (в обратную сторону движения трактора), и по направлению склона.

Полученные экспериментальные данные показывают, что зависимость вертикальной деформации почвы (глубины вдавливания) от нормальной силы на склонах не отличается от зависимости тех же величин на горизонтальном участке. Но характер деформации и распределение напряжения на склонах от воздействия вертикальных сил (нормально к горизонту) меняется. Это положение имеет существенное значение при рассмотрении сползания гусениц на склонах. Данные опытов показывают, что при одних и тех же почвенных условиях сопротивление почвы вдавливанию разное.

Протекание деформации почвы при вдавливании штампа (нормально к горизонту) на склонах своеобразно и различно в зависимости от уклона. В сторону спуска почва деформи-



руются больше и частицы почвы перемещаются в поперечном направлении гораздо больше, чем в сторону подъема. Деформация почвы происходит в пространственном виде и потому для оценки берутся показатели деформации в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Из них характерной для исследуемого вопроса является поперечная деформация, т. е. деформация в сторону уклона. Показателем этой деформации является коэффициент поперечной деформации, выраженный соотношением

$$\delta = \frac{l-a}{h}$$

где  $\delta$  — коэффициент поперечной деформации,

$l$  — расстояние от оси проходящей через центр опорной поверхности штампа до граничной распространения деформации.

$a$  — половина-длины опорной поверхности штампа,

$h$  — глубина вдавливания штампа в почву.

Коэффициент  $\delta$  получается различным для одного и того же опыта на склонах для обеих сторон штампа. На стороне вниз по уклону коэффициент  $\delta$  бывает больше, а на стороне вверх по склону меньше.

Анализ протекания деформации показывает необходимость исследования сдвигов почвы в сторону уклона от воздействия гусениц.

Сдвиг почвы в боковом направлении происходит своеобразно и, в основном зависит от того, на какой глубине приводятся опыты. Наши опыты проводились в пределах действия шпор гусениц.

Условия деформации почвы в боковом направлении отличаются тем, что сопротивление почвы боковому сдвигу на штампе не одинаково, и при вдавливании штампа почва выпирается в сторону поверхности с последующим разрушением. В пределах разрушенной почвы удельное сопротивление остается постоянным. После выхода штампа из зоны разрушения сопротивление почвы постепенно возрастает,

и начинается новая фаза выпирания с последующим разрушением.

Результаты лабораторных и полевых опытов показывают, что в пределах воздействия шпор гусениц на почву, значение коэффициента  $k$  получается почти одинаковым для трех направлений деформации почвы.

Вопрос определения коэффициента трения металла о почву изучался многими исследователями, но до сих пор мы не имеем полных данных о величине этого коэффициента.

Для теоретического обоснования формы гусеничных звеньев тракторов и колес машин необходимо иметь полное представление о величине коэффициента трения.

При рассмотрении характера изменения коэффициентов трения в зависимости от удельных давлений, мы имели в виду, что при движении трактора поперек склона удельное давление на опорную поверхность изменяется с изменением угла наклона местности.

Произведенные нами опыты показывают, что в начале, с увеличением удельного давления значения коэффициента трения возрастает. Предел удельного давления для возрастания коэффициента трения можно принять от  $0,03 - 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$  дальнейшее возрастание удельных давлений вызывает незначительные изменения коэффициента трения.

На почвах с влажностью, более 10%, с возрастанием удельного давления величина коэффициента трения уменьшается.

Наши исследования по этому вопросу приводят к следующему заключению: с увеличением удельного давления почва одновременно подвергается сжатию, вследствие чего влага, находящаяся в свободном состоянии в почве, поднимается вверх и образует водяную оболочку между трущимися поверхностями, что облегчает процесс трения, т. е. уменьшает силу трения.

## ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Полевые испытания трактора проводились с целью обоснования и подтверждения проведенных нами теоретических исследований, отклонения трактора от своего первоначального направления при его движении поперёк склона и потерь тягового усилия трактора при его работе на склонах.

Факторы, влияющие на устойчивость направления движения трактора, действуют совместно.

Для ведения трактора поперек склона возникает необходимость часто выравнивать трактор, т. е. поворачивать его в сторону подъема. Частое повторение этой операции значительно уменьшает полезную работу трактора. При частом выравнивании направления движения трактора, тракторист быстро утомляется и вместе с тем ходовые органы трактора изнашиваются раньше срока.

Для изучения интенсивности поворачивания трактора при движении поперек склона нами были поставлены специальные эксперименты. Трактор устанавливался параллельно намеченному направлению движения, а затем он приводился в движение без управления. Далее через каждые 10 метров измерялись величины отклонения трактора от первоначального его направления и отрезка пройденного пути.

Опыты проводились с трактором ДТ-54 имевшем на прицепе плуг, на уклонах  $8^{\circ}50'$  и  $20^{\circ}30'$  и без прицепа на уклоне  $8^{\circ}50'$ . Опытные данные показывают, что по мере возрастания угла подъема местности сильно уменьшается радиус произвольного поворота.

Полевые опыты были проведены также с трактором С-80 на уклоне  $10^{\circ}$ , с целью обоснования применения боковых шпор, препятствующих боковому смещению. Для этого были изготовлены боковые шпоры, которые устанавливали на обеих гусеницах трактора из расчёта по одной на звено.

Из опытных данных наглядно было видно преимущество трактора с боковыми шпорами, так как при них лучше соблюдается первоначальное направление движения.

Кроме того была определена разность коэффициентов

буксования гусениц. Для трактора без боковых шпор разность коэффициентов буксования гусениц равна 1,5%, а для трактора с боковыми шпорами эта разность равна 0,9%, отсюда также видно преимущество трактора с боковыми шпорами.

Были поставлены также опыты на периодичность выключения забегающей гусеницы для выравнивания направления движения трактора по намеченному пути.

Периодичность выключения забегающей гусеницы на расстоянии 100 метров для трактора с боковыми шпорами составляла 16, а для трактора без боковых шпор 25.

Таким образом при применении боковых шпор на 30—40% облегчается работа тракториста по управлению трактором и, примерно, на столько же облегчается работа ходовых органов трактора.

Тяговые испытания трактора ДТ-54 проводились нами с целью выяснения потерь мощности на крюке в зависимости от уклона. Опытным путем были получены тяговые характеристики на горизонтальном участке и на уклоне  $12^{\circ}30'$ . Потери мощности на уклоне  $12^{\circ}30'$  по сравнению с горизонтальным участком составляет 4,5 л.с.

При движении поперёк склона возрастает сопротивление движению трактора, во-первых, за счет трения между почвой и опорной поверхностью гусениц и сопротивления почвы смятию, во-вторых за счет трения опорных катков о боковые поверхности направляющих гребней. Под действием поперечных сил опорные катки смещаются в сторону уклона и своими боковыми поверхностями упираются в направляющие гребни гусениц. В процессе перекатывания катков в точках соприкосновения их с направляющими гребнями под действием поперечных сил возникает сила трения, направленная против толкающей силы, т. е.

$$P_{тр} = \mu \cdot G (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения между опорными катками и звеньями гусениц,

$G \cdot \sin \alpha$  — поперечная сила, действующая на трактор от его веса,

$G \cdot \cos \alpha$  — составляющая веса трактора, перпендикулярная к поверхности пути.

I. Уменьшение потерь в механизме гусеничного двигателя от поперечных сил встречает некоторые трудности, так как для этого требуются частичные конструктивные изменения в самом механизме.

II. Потери за счет трения между почвой и опорной поверхностью гусениц, и сопротивления почвы смятию можно значительно уменьшить путем применения рычажного прицепного приспособления для перемещения точки прицепа в сторону подъема и посредством применения боковых упорных шпор.

## В Ы В О Д Ы

1. Процесс сползания трактора за счет скольжения ходовых органов при движении поперёк склона обуславливается во-первых, физико-механическими свойствами и агротехническим состоянием почвы, во-вторых, углом склона местности.

Боковое смещение трактора в сторону спуска за счет скольжения ходовых органов определяется по формуле

$$h = k \sqrt{\frac{G \cdot \sin \beta}{C_6 \cdot F \delta \cdot \cos \varphi}}$$

2. При погружении шпоры в почву звено смещается в сторону уклона.

На пути  $S$  величина бокового смещения трактора с учетом периодического смещения гусеничных звеньев определяется по формуле

$$Y = \frac{S}{l} \cdot D_э \cdot k \sqrt{\frac{m \cdot G \cdot \sin \alpha}{C \cdot F \delta}}$$

3. Для подсчета величины буксования гусеничного

трактора при его тяговых испытаниях в поперечном направлении склона следует использовать формулу

$$\delta = \left( 1 - \frac{S}{l \cdot Z \cdot n} \right)$$

4. В земледельческой механике имеются два основных уравнения закономерности сопротивления почвы вдавливанию;

$q = c \cdot h^k$  и  $q = c \cdot \lambda^k$ . Из них уточненная степенная зависимость  $q = c \cdot \lambda^k$  с учетом эквивалентного диаметра для глубин вдавливания в пределах погружения шпор гусениц с достаточной точностью выражает зависимость между силой и относительной деформацией почвы.

5. Эксперименты по вдавливанию почвы штампами с различными очертаниями показывают, что с увеличением периметра штампа при  $F = \text{const.}$  коэффициент удельного сопротивления вдавливанию увеличивается.

6. Характер деформации почвы от вдавливания по боковому направлению склона, в основном, отличается от деформации почвы по направлению, перпендикулярному к поверхности почвы. Значение коэффициента  $c$  сохраняется почти постоянным при деформации почвы по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Значение коэффициента  $c$  при деформации почвы по боковому направлению в 1,5—2,0 раза меньше, чем при деформации почвы по направлению, перпендикулярному к поверхности почвы, т. е.

$$C = m C_6 \quad m = 1,5 \div 2,0$$

7. Коэффициент трения металла о почву всегда изменчив, так как условия почвы постоянно изменяются. Следовательно, величина коэффициента трения почвы должна вытекать из конкретных условий. До момента начала деформации почвы при увеличении удельного давления на почву с влажностью выше 10—15% коэффициент трения постепенно уменьшается благодаря образованию водяной оболочки между поверхностями трения. На почвах с меньшей влажностью увеличение удельного давления не влияет на значение коэффициента трения.

В условиях оптимальной влажности культурно-поливных и чернозёмных почв для получения истинного значения коэффициента трения необходимо, чтобы удельные давления были в пределах от 0,03 до 0,05 кг/см<sup>2</sup>.

8. Если процесс трения протекает одновременно с процессом смятия почвы, то силу трения можно определить по формуле

$$P_{\text{тр}} = P_{\text{об}} - \frac{B \cdot c \cdot h^{k+1}}{D_a^{k+1} (k+1)}$$

9. При работе трактора поперёк склона уменьшается тяговое усилие на крюке. Уменьшение тягового усилия происходит, во-первых, за счёт трения опорных катков о боковые поверхности направляющих гребней. Эти потери можно подсчитать по формуле

$$P_{\text{тр}} \cdot r = \mu \cdot G (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$$

во-вторых, за счёт трением между почвой и опорной поверхностью гусениц и сопротивлением почвы смятию.

10. Трактор, имеющий боковые шпоры, меньше отклоняется от первоначального направления при движении поперёк склона. Вместе с этим на 30—40% облегчается работа тракториста и, примерно, на столько же облегчается работа ходовых органов трактора.

Перечень научных изданий в которых опубликовано содержание диссертации:

1. Бюллетень научно-технической информации № 1 Армянского научно-исследовательского института земледелия (Арм. НИИЗ) Ереван В. Х. Амбарцумян „К вопросу о сползании трактора при его работе на склонах“

2. Труды конференции молодых научных работников Арм. СХИ № 1. Ереван 1957 г. В. Амбарцумян „Сопротивление почвы вдавливанию“

3. Сборник трудов молодых научных работников научно-исследовательских учреждений и вузов. 1957 г. г. Ереван. „Основные вопросы сползания гусеничного хода на склонах“ В. Х. Амбарцумян.