

Министерство высшего и среднего специального образования УССР  
ХАРЬКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

---

Инженер Д. М. СОЛОГУБ

# ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРИЦЕПА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕСНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков — 1964

Министерство высшего и среднего специального образования УССР

ХАРЬКОВСКИЙ

АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

Инженер Д. М. СОЛОГУБ

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПОЛУПРИЦЕПА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
КОЛЕСНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
ТРАКТОРА НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — кандидат технических наук  
доцент А. Б. ГРЕДЕСКУЛ

Харьков — 1964

Работа выполнена на Харьковской опытной станции механизации сельского хозяйства УНИИМЭСХ, в Украинском филиале ГОСНИТИ и на кафедре автомобилей и двигателей Харьковского автомобильно-дорожного института.

## В В Е Д Е Н И Е

Развитие социалистического сельскохозяйственного производства сопровождается значительным ростом объема перевозок различных грузов.

Выполнение большого объема перевозок с наименьшими затратами не может быть достигнуто за счет использования только грузовых автомобилей. Лишь при рациональном применении в сельском хозяйстве на транспортных работах тракторов с полуприцепами и прицепами, гужевого и других видов транспорта может быть достигнуто значительное сокращение затрат.

Широкое применение на транспортных работах тракторов до настоящего времени затруднялось из-за малого количества тракторных транспортных машин — прицепов и полуприцепов.

Пленум ЦК КПСС, состоявшийся в марте 1962 года, отмечая недостаточность поставок сельскому хозяйству транспортных средств, постановил:

«Поручить Президиуму ЦК КПСС и Совету Министров СССР разработать и принять широкую программу..., имея в виду значительное увеличение производства и поставки..., погрузочно-разгрузочных и транспортных средств»...

В связи с этим с особой остротой ставится задача создания совершенных тракторных транспортных машин. Эта задача может быть решена на основе исследования работы тракторов на транспорте и взаимодействия их с транспортными машинами.

В течение 1958—1963 гг. автором были проведены исследования работы сельскохозяйственного колесного трактора на транспорте и взаимодействия трактора с полуприцепом, а также работы по созданию конструкции тракторного полуприцепа. Результаты проведенных исследований изложены в данной работе.

## 1. Постановка вопроса

По данным Б. Ходасевича только по совхозной системе Союза размер перевозимых всеми видами транспорта грузов более чем в три раза превышал объем перевозок всех железных дорог страны.

Данные по распределению грузооборота по совхозам, по видам транспорта показывают, что в 1956—1957 гг. в системе совхозов еще довольно широко использовался экономически малоэффективный гужевой транспорт. Вместе с тем очень мало использовались более эффективные транспортные средства — тракторы с полуприцепами и прицепами (тракторные поезда).

По мере роста тракторного парка, и в особенности парка колесных тракторов, распределение грузооборота изменялось в сторону увеличения доли тракторов.

В сельскохозяйственном производстве тракторы используются в основном на внутрихозяйственных перевозках грузов, когда они освобождаются от выполнения основных тракторных работ.

Широко применяются тракторы для перевозок различных грузов в период бездорожья, распутицы, когда грузовые автомобили практически не могут двигаться по грунтовым дорогам.

При перевозках грузов на расстоянии 8—10 км колесные тракторы при движении по грунтовым дорогам имеют преимущества в сравнении с грузовыми автомобилями. Их производительность в среднем выше на 30%, расход топлива с грузом меньше на 22,9% и без груза — на 6%.

Следовательно, использование тракторов на транспортных работах не противопоставляется автомобильному транспорту, а расширяет возможности его, дополняя новым видом транспортных средств, — тракторными поездами.

Изложенное выше подтверждается зарубежным опытом использования тракторов на транспортных работах. Так, по данным А. В. Басова основным видом транспорта на фермах

США, Канады и Англии являются тракторы с полуприцепами и прицепами.

Полуприцепы в сравнении с прицепами повышают сцепление с почвой ведущих колес и КПД трактора, имеют меньшую металлоемкость и меньшие затраты на производство, более компактны и маневрены, имеют, как правило, меньшее количество колес.

Учитывая эти преимущества полуприцепов, типаж тракторных транспортных машин для производства, в 1959—1965 гг. предусматривает выпуск их более половины (58,5%) всего количества тракторных транспортных машин.

Одно из условий получения наиболее высоких технико-экономических показателей работы — это соответствие параметров транспортной машины тяговым и динамическим показателям трактора, для агрегатирования с которым предназначается данная транспортная машина. К таким параметрам следует отнести грузоподъемность, собственный вес, координаты центра тяжести в груженом состоянии и основные конструктивные размеры транспортной машины.

Важность правильного выбора параметров тракторных транспортных машин подтверждается исследованиями, выполненными в Советском Союзе и за рубежом.

Большая часть выполненных исследований посвящена разработке методов определения оптимального веса прицепа (веса прицепа с грузом) к сельскохозяйственному трактору.

Обстоятельные исследования по этому вопросу проведены Крживицким А. А. еще в 30 годах.

Методы определения оптимального веса прицепа и влияние размещения точки соединения его с трактором на динамику трактора в дальнейшем получили развитие в работах профессора Е. Д. Львова, А. В. Сапожникова и В. Е. Ясеневич, В. П. Фомина, А. Н. Willis и др.

Однако большинство работ посвящено разработке методов определения оптимального веса прицепа. И только в последнее время появились работы, в которых рассматриваются вопросы определения оптимального веса тракторного полуприцепа. Это прежде всего работы В. Е. Ясеневича, A. Vavra и E. Pick, из которых первую следует считать более обстоятельной.

Кроме того, в работах Л. Я. Марциновской, Ю. П. Сорочан, А. П. Скердиева, E. Strouhal и др. нашли отражение вопросы, связанные с изучением влияния в прицепах и полуприцепах применения ведущих мостов, а в работах Я. Кувшинова, В. Г. Гневковского, Н. Н. Coenepenberg, Schmidt F.

и др. конструктивных особенностей и способов агрегатирования прицепов и полуприцепов с тракторами.

И все же, хотя исследованиям взаимодействия сельскохозяйственного трактора с транспортными машинами посвящено достаточно большое количество работ, практически, на основе выполнения работ, разработаны лишь методы определения оптимального веса тракторной транспортной машины. Ряд вопросов, связанных с определением других оптимальных параметров тракторных транспортных машин еще не исследованы. Прежде всего это относится к определению основных оптимальных параметров тракторных полуприцепов.

Таким образом, перед исследователями ставится задача выявления зависимости между основными параметрами сельскохозяйственного трактора и полуприцепа, предназначенного для агрегатирования с тракторами данного класса, которые позволяли бы определить их оптимальные значения. Так как наиболее массовое применение на транспортных работах найдут колесные (баллонные) сельскохозяйственные тракторы, то, естественно, поставленные задачи должны быть решены в первую очередь применительно к этому типу тракторов.

Целью данной работы является выявление и исследование зависимостей между основными параметрами колесного (баллонного) сельскохозяйственного трактора и агрегатируемого с ним полуприцепа. Эти зависимости позволят определять оптимальные значения основных параметров полуприцепов, обеспечивающие эффективное использование тракторов на транспортных работах. К основным параметрам следует отнести:

- 1) вес полуприцепа с грузом;
- 2) координаты центра тяжести полуприцепа с грузом, от величины которых прежде всего зависит устойчивость полуприцепа и тракторного поезда в целом и величина докладки трактора весом полуприцепа;
- 3) волею (поперечную базу) полуприцепа;
- 4) размеры кузова (платформы);
- 5) расстояние от геометрической оси колес до центра прицепного устройства (петли дышла) полуприцепа, — продольную базу;
- 6) координаты точки сцепа (точки опоры) полуприцепа с трактором.

## II. Исследование влияния полуприцепа на устойчивость колесного сельскохозяйственного трактора

При оценке конструкции сельскохозяйственного трактора в отношении устойчивости принято рассматривать: а) трактор неподвижен (заторможен) — статическая устойчивость;

б) трактор движется равномерно с постоянной скоростью — установившееся движение. Рассматриваемые случаи дают возможность полностью исключить при оценке конструкции трактора влияние субъективных факторов.

Естественно, при исследовании влияния полуприцепа на устойчивость трактора также необходимо рассматривать случаи, при которых влияние субъективных факторов было бы сведено к нулю. Поэтому при исследовании рассматриваем случаи: а) влияние полуприцепа на статическую устойчивость трактора и б) влияние полуприцепа на устойчивость трактора при установившемся движении.

Так как параметры, определяющие устойчивость трактора и полуприцепа в продольной и поперечной плоскостях различны, то влияние полуприцепа на устойчивость трактора в продольной и поперечной плоскостях исследуются раздельно.

### 1. Влияние полуприцепа на продольную устойчивость трактора

Наиболее вероятный случай потери продольной устойчивости трактора с полуприцепом может быть при опрокидывании назад. Поэтому рассматриваем стоянку и установившееся движение трактора с полуприцепом на подъеме.

Наиболее неблагоприятный случай стоянки трактора с полуприцепом на подъеме, когда торможение осуществляется трактором и вертикальные продольные плоскости симметрии трактора и полуприцепа расположены по направлению уклона.

Статическая устойчивость тракторного поезда в рассматриваемом случае может быть оценена предельным углом подъема  $\alpha_{lim}^{(n)}$ .  $\alpha_{lim}^{(n)}$  — это угол подъема, на котором может стоять, не опрокидываясь, заторможенный трактор с полуприцепом.

Решение уравнений моментов сил, действующих на трактор и полуприцеп в рассматриваемом случае, позволили получить следующую формулу для определения предельного угла подъема трактора с полуприцепом  $\alpha_{lim}^{(n)}$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_{lim}^{(n)} = \frac{a + x a'_{np} \Delta}{h + (h'_{np} - r'_0) x \Delta + \Delta r_0}; \quad (1)$$

где  $\Delta = \frac{Q}{G}$  — относительный вес полуприцепа для данного трактора с эксплуатационным весом  $G$ ;  
 $Q$  — вес полуприцепа с грузом при полном использовании грузоподъемности;

- $r_0$  — радиус качения колес полуприцепа;
- $a'_{np} = \frac{a_{np}}{L_{np}}$  — относительная продольная координата центра тяжести полуприцепа;
- $h'_{np} = \frac{h_{np}}{L_{np}}$  — относительная высота центра тяжести полуприцепа;
- $r'_0 = \frac{r_0}{L_{np}}$  — относительный радиус качения колес полуприцепа;
- $L_{np}$  — продольная база полуприцепа;
- $x$  — продольная координата точки сцепа трактора с полуприцепом.

Анализ формулы (1) позволил установить, что: при агрегатировании трактора с полуприцепом статическая продольная устойчивость его ухудшается при всех конструктивно выполнимых значениях параметров  $\Delta$ ,  $a'_{np}$ ,  $h'_{np}$  и  $x$ ; наибольшее приращение величина  $\alpha_{kp}^{(n)}$  имеет при изменении  $a'_{np}$ .

Устойчивость трактора с полуприцепом при установившемся движении на подъеме может оценена критическим углом подъема  $\alpha_{kp}^{(n)}$ .  $\alpha_{kp}^{(n)}$  — наибольший угол подъема, на котором трактор с полуприцепом еще может двигаться, не опрокидываясь, с постоянной скоростью (установившееся движение).

В результате анализа действующих на трактор и полуприцеп в рассматриваемом случае сил, получена формула для определения критического угла  $\alpha_{kp}^{(n)}$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_{kp}^{(n)} = \frac{a + \Delta a'_{np} [x - f(r_k - r_0)] - f(r_k + \Delta r_0)}{h + \Delta r_0 + \Delta(h'_{np} - r'_0) [x - f(r_k - r_0)]}. \quad (2)$$

Во время движения трактора с полуприцепом может произойти потеря управляемости трактора, хотя продольную устойчивость он будет сохранять. Условие сохранения управляемости при установившемся движении колесного трактора с полуприцепом на максимальном подъеме записывается в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \alpha_{kp}^{(n)} \geq \frac{1}{1 - m'_{1mln}} \operatorname{tg} \alpha_{max}, \quad (3)$$

$m'_{1mln}$  — коэффициент загрузки направляющих колес трактора, его минимально допустимое значение для данных условий движения (для данных  $\varphi$  и  $f$ );

$\alpha_{max}$  — наибольший угол подъема, который может иметь место при движении трактора с полуприцепом в данных зональных условиях сельскохозяйственного производства.

Наилучшие результаты в части обеспечения устойчивости трактора, как показали выполненные исследования, дает размещение точки сцепа полуприцепа с трактором впереди оси его ведущих колес.

Применительно к сельскохозяйственным колесным тракторам класса 0,6 тонны оптимальный относительный вес полуприцепа из условий обеспечения устойчивости и управляемости должен быть 1,8—1,9 для условий Лесостепи УССР.

## 2. Влияние полуприцепа на поперечную устойчивость трактора

Для оценки влияния полуприцепа на поперечную устойчивость трактора рассматриваем случаи:

- стоянка трактора с полуприцепом на поперечном уклоне (косогоре) — статическая поперечная устойчивость;
- равномерное криволинейное движение с постоянной скоростью трактора с полуприцепом на поперечном уклоне — установившееся криволинейное движение.

Наиболее неблагоприятное в отношении поперечной устойчивости положение неподвижный трактор с полуприцепом будет занимать, когда продольная вертикальная плоскость симметрии трактора нормальна к направлению поперечного уклона  $\alpha_p$  и торможение осуществляется только тормозами трактора.

Поперечная статическая устойчивость колесного трактора в отношении опрокидывания оценивается предельным углом поперечного уклона.

Предельный угол поперечного уклона в отношении опрокидывания трактора с полуприцепом может быть определен по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{np}^{(n)} = \frac{0,5B(1 + \Delta a'_{np}) - e}{\Delta \left[ -0,5B(h'_{np} - r'_0) \frac{L_{np}}{R} + \frac{L_{np}^2 \cdot r_0}{R^2} (1 - a'_{np}) + r_0 a'_{np} \right] + h}, \quad (4)$$

$R$  — радиус поворота, определяющий взаимное положение трактора и полуприцепа.

Из формулы (4) следует, что  $\alpha_{np}^{(n)}$  зависит, при принятом расположении трактора по отношению к направлению поперечного уклона, от взаимного положения трактора и полуприцепа, которое определяется величиной  $R$ , т. е.  $\operatorname{tg} \alpha_{np}^{(n)} = \gamma(R)$ .

Исследование функции  $\gamma(R)$  показывает, что наибольшее значение (максимум) функция  $\gamma(R)$  имеет при

$$R = \frac{2r_0 L_{np} (1 - a'_{np})}{0,5 B (h'_{np} - r'_0)},$$

а наименьшее при  $R = -L_{np}$ . Минимальное значение функции  $\gamma(R)$  вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{n \lim \min}^{(n)} = \frac{0,5 B (1 + \Delta a'_{np}) - e}{\Delta [0,5 B (h'_{np} - r'_0) + r_0] + h}. \quad (5)$$

Кроме того, исследования отношения предельных углов трактора без полуприцепа и с полуприцепом позволили установить, что при значениях  $R > \frac{2r_0 L_{np} (1 - a'_{np})}{0,5 B (h'_{np} - r'_0)}$  поперечная статическая устойчивость в отношении опрокидывания трактора при агрегатировании с полуприцепом улучшается, а при значениях  $L_{np} \leq R < \frac{2r_0 L_{np} (1 - a'_{np})}{0,5 B (h'_{np} - r'_0)}$  или

$R \rightarrow -L_{np}$  ухудшается в сравнении с трактором без полуприцепа (знак “—” означает, что полуприцеп располагается по уклону ниже трактора).

Поэтому при оценке поперечной статической устойчивости трактора с полуприцепом следует рассматривать наихудшие условия, т. е. определять минимальное значение предельного угла  $\alpha_{n \lim}^{(n)}$  по формуле (5).

При исследовании влияния полуприцепа на поперечную устойчивость в отношении опрокидывания трактора при установленном криволинейном движении рассматриваемый неблагоприятный случай, — при повороте на высшей передаче продольная вертикальная плоскость симметрии нормальна к направлению поперечного уклона, а ось поворота расположена по уклону вверх от трактора. При таких условиях сумма центробежной силы и составляющей силы тяжести, действующих на трактор в поперечной плоскости и стремящихся опрокинуть его, имеет наибольшее значение. Также наибольшим оказывается передаваемое на трактор и действующее аналогично суммарное усилие от центробежной силы и составляющей силы тяжести полуприцепа.

В рассматриваемом случае поперечная устойчивость в отношении опрокидывания трактора с полуприцепом оценивается критическим углом поперечного уклона  $\alpha_{n kp}^{(n)}$ , при котором трактор с полуприцепом еще сохраняет способность двигаться разномерно, не опрокидываясь. Для опре-

деления критического угла поперечного уклона  $\alpha_{n kp}^{(n)}$  служит формула:

$$v = \sqrt{g \frac{\cos \alpha_{n kp}^{(n)} \cdot [0,5 B (1 + \Delta a'_{np}) - e] + \sin \alpha_{n kp}^{(n)} \cdot \Delta [0,5 B L_{np} (h'_{np} - r'_0) \times - h - \Delta a'_{np} [0,5 B L_{np} (h'_{np} - r'_0) \times - r_0] \times L_{np}^2 (1 - a'_{np}) - r_0 a'_{np}] - h}{r - \frac{1}{R}}} = v(\alpha_{n kp}^{(n)}; x), \quad (6)$$

где  $v$  — скорость движения трактора;

$x = \frac{1}{R}$  — кривизна поворота.

Функция  $v(\alpha_{n kp}^{(n)}; x)$  дает возможность по двум заданным величинам из трех  $v$ ,  $\alpha_{n kp}^{(n)}$  и  $x$  — определить третью. Для удобства решения поставленной задачи строятся графики функциональной зависимости двух величин при заданной третьей.

Исследования влияния полуприцепа на поперечную устойчивость в отношении опрокидывания колесного трактора, выполненные с помощью формулы (6) показали, что:

поперечная устойчивость в отношении опрокидывания трактора с полуприцепом при возрастании скорости движения  $v$  улучшается в сравнении с трактором без полуприцепа и навесных и прицепных машин (рудий) при тех же параметрах движения;

принятый для трактора ДТ-20 относительный вес экспериментального полуприцепа  $\Delta=1,83$  и другие основные параметры обеспечивают сохранение поперечной устойчивости в отношении опрокидывания тракторного поезда практически при всех условиях движения.

При исследовании влияния полуприцепа на поперечную устойчивость в отношении бокового сползания колесного трактора получены следующие выражения для определения предельного  $\alpha_{n \lim}^{(nc)}$  и критического  $\alpha_{n kp}^{(nc)}$  углов поперечного уклона для трактора с полуприцепом:

$$\operatorname{tg} \alpha_{n \lim \min}^{(nc)} = \varphi_z - \frac{\varphi_z \Delta [1 - a'_{np} + \varphi_z (h'_{np} - r'_0)]}{1 + \Delta [1 + \varphi_z (h'_{np} - r'_0)]}, \quad (7)$$

$$v = \sqrt{g \frac{(1 + \Delta a'_{np}) \varphi_z \cos \alpha_{n kp}^{(nc)} - \{1 + \Delta x^2 L_{np}^2 (1 - a'_{np}) + \Delta [a'_{np} - \varphi_z x L_{np} (h'_{np} - r'_0)]\} \sin \alpha_{n kp}^{(nc)}}{\times \{1 + \Delta a'_{np} [1 - \varphi_z x L_{np} (h'_{np} - r'_0)]\}}} = \varphi_{n kp}^{(nc)}; x, \quad (8)$$

где  $\varphi_z$  — коэффициент сцепления движителей сельскохозяйственного трактора в боковом (поперечном) направлении.

Результаты выполненных исследований позволили установить, что:

выявленные при исследовании влияния полуприцепа на устойчивость колесного трактора в отношении опрокидывания закономерности справедливы и при оценке влияния полуприцепа на поперечную устойчивость в отношении бокового (поперечного) сползания;

нарушение поперечной устойчивости трактора с полуприцепом и без полуприцепа и навесных и прицепных машин (орудий) в отношении бокового сползания происходит раньше, чем в отношении опрокидывания, так как обычно, —

$$\alpha_{n \text{ lim}}^{(n)} > \alpha_{n \text{ lim}}^{(pc)}$$

и

$$\alpha_{n \text{ kp}}^{(n)} > \alpha_{n \text{ kp}}^{(pc)}.$$

Кроме того, исследования влияния полуприцепа на продольную и поперечную устойчивость колесного трактора показывают, что для практических целей при сравнительной оценке устойчивости тракторных поездов (трактор с полуприцепом), тракторов или прицепных сельскохозяйственных машин и орудий можно пользоваться предельными углами подъема и уклона (продольного и поперечного). Если имеет место, —

$$\alpha_{1 \text{ lim}} \gtrsim \alpha_{2 \text{ lim}},$$

то при прочих равных условиях, как правило, соблюдается и

$$\alpha_{1 \text{ kp}} \gtrsim \alpha_{2 \text{ kp}},$$

где  $\alpha_{1 \text{ lim}}$ ;  $\alpha_{2 \text{ lim}}$  и  $\alpha_{1 \text{ kp}}$ ;  $\alpha_{2 \text{ kp}}$  — предельные и критические углы сравниваемых тракторных поездов, тракторов или прицепных машин и орудий.

Полученный вывод позволил при оценке устойчивости полуприцепа ограничиться исследованием предельных углов поперечного уклона в отношении опрокидывания  $\alpha_{n \text{ lim}}^{(np)}$  и в отношении бокового сползания  $\alpha_{n \text{ lim}}^{(pc)}$ . Выполненные исследования дали следующие формулы для определения минимальных значений предельных углов поперечного уклона:

в отношении опрокидывания

$$\operatorname{tg} \alpha_{n \text{ lim min}}^{(np)} = \frac{\left(0.5 B_0 - e_0 - a_{np} \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}\right) \cos \frac{\Theta}{2}}{h_{np}}, \quad (9)$$

в отношении бокового сползания

$$\operatorname{tg} \alpha_{n \text{ lim min}}^{(pc)} = \frac{\varphi_z (1 - a'_{np})}{V (1 - a'_{np})^2 + \varphi_z^2 (h'_{np})^2}, \quad (10)$$

где  $e_0$  — смещение центра тяжести полуприцепа относительно продольной вертикальной плоскости симметрии;

$\Theta$  — угол между плоскостями, нормальными к поверхности пути и проведенными через точку сцепа и центры опорных поверхностей колес полуприцепа, —

$$-\operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} = \frac{0.5 B_0}{l_{np}}.$$

Для обеспечения сохранения поперечной устойчивости тракторного поезда (трактора в агрегате с полуприцепом) при движении в различных дорожных условиях, как показывают выполненные исследования, необходимо, чтобы минимальные предельные углы поперечного уклона для полуприцепа были не меньше соответствующих углов для трактора с полуприцепом, т. е.

$$\alpha_{n \text{ lim min}}^{(np)} \gtrsim \alpha_{n \text{ lim min}}^{(n)};$$

$$\alpha_{n \text{ lim min}}^{(pc)} \gtrsim \alpha_{n \text{ lim min}}^{(pc)}.$$

При соблюдении указанных требований поперечная устойчивость тракторного поезда будет отвечать условиям эксплуатации в сельскохозяйственном производстве.

### III. Выбор основных параметров полуприцепа для сельскохозяйственного колесного трактора

Выполненные исследования позволили разработать метод определения параметров полуприцепа в зависимости от эксплуатационных и конструктивных данных сельскохозяйственного колесного трактора и особенностей эксплуатации транспортных машин в сельскохозяйственном производстве.

Анализ работы сельскохозяйственных тракторов на транспортировании грузов, выполненные исследования (Кржижицкий А. А., Ясеневич В. Е. и др.) и проведенные экспериментальные работы показали, что необходимая для практических целей точность расчета оптимального веса полуприцепа может быть вполне обеспечена, если исходить при расчетах только из тягового баланса трактора. Поэтому была принята методика определения оптимального веса полуприцепа для колесного трактора, предусматривающая выполне-

ние расчетов на основе тягового баланса трактора с полуприцепом.

Определение веса полуприцепа производится с учетом наличия у сельскохозяйственных тракторов двух транспортных скоростей для движения по грунтовым и усовершенствованным дорогам.

Принятая методика предусматривает расчет оптимального веса полуприцепа для средних зональных условий движения по грунтовым и усовершенствованным дорогам, с учетом возможности преодоления участков пути с максимальным общим сопротивлением, возможным в условиях рассматриваемой зоны.

Принятая методика была использована при определении оптимального веса полуприцепа для сельскохозяйственных колесных тракторов класса 0,6 тонны. Расчеты показали, что в зависимости от конструкции трактора данного класса грузоподъемность полуприцепа может быть от 2250 кг до 3500 кг (для Лесостепной зоны УССР). Полученные результаты хорошо согласуются с данными расчетов и экспериментальных исследований, выполненных другими авторами по отличным от принятой методикам.

Как было показано в главе II, устойчивость трактора и тракторного поезда в целом зависит не столько от веса полуприцепа, сколько от основных конструктивных размеров его.

К основным конструктивным размерам следует отнести: относительные координаты центра тяжести полуприцепа  $a'_{\text{пр}}$  и  $h'_{\text{пр}}$ ;

колею полуприцепа  $B_0$ ;

размеры кузова (платформы);

продольную базу полуприцепа  $L_{\text{пр}}$ ;

величину выноса точки сцепа полуприцепа с трактором  $x$ .

Относительная продольная координата центра тяжести полуприцепа  $a'_{\text{пр}}$  всецело определяется допустимой длиной трактора весом полуприцепа. Величина длины трактора, как показывает опыт эксплуатации сельскохозяйственных колесных тракторов, может быть определена для неподвижного трактора по максимальной грузоподъемности шин ведущих колес трактора. Отсюда, с учетом изложенного:

$$a'_{\text{пр}} = \frac{d + a' - 1}{\Delta}, \quad (11)$$

где  $d$  — коэффициент, учитывающий тип трактора ( $d$  — отношение грузоподъемности шин задних колес к весу трактора);

$a' = \frac{a}{L}$  — относительная продольная координата центра тяжести трактора.

Несовпадение при движении колеи полуприцепа с колеей трактора приводит к значительному возрастанию тягового усилия, потребного для буксирования полуприцепа, и снижению маневровых свойств тракторного поезда. Для соблюдения этого условия колея полуприцепа  $B_0$  должна приниматься равной кслее трактора  $B$ .

Из условий обеспечения необходимой устойчивости в поперечной плоскости трактор и полуприцеп должны иметь наибольшую колею (глава II).

Размеры кузова полуприцепа данного оптимального веса обуславливаются объемным весом транспортируемых грузов и собственным весом полуприцепа, а также ограничениями на габариты.

Так как ширина  $B_{\text{ок}}$  и высота бортов  $h_{\text{ок}}$  кузова полуприцепа обуславливаются габаритными ограничениями и требованиями обеспечения минимальной погрузочной высоты, то эти размеры обычно принимаются конструктивно. Тогда длина кузова полуприцепа  $L_{\text{ок}}$  определяется по формуле:

$$L_{\text{ок}} = \frac{s_{\text{пр}} \Delta G}{\gamma_{\text{ср}} h_{\text{ок}} B_{\text{ок}}}, \quad (12)$$

где  $s_{\text{пр}}$  — коэффициент совершенства конструкции тракторного полуприцепа, — отношение веса полезного груза к общему весу полуприцепа с грузом при полном использовании грузоподъемности;

$\gamma_{\text{ср}}$  — средний объемный вес грузов.

Величина продольной базы полуприцепа  $L_{\text{пр}}$  зависит от величины относительной продольной координаты центра тяжести полуприцепа  $a'_{\text{пр}}$ , размеров кузова, размещения сцепного устройства трактора и должна обеспечивать поворот трактора с полуприцепом без упора ведущих колес трактора в кузов полуприцепа. Указанным требованиям удовлетворяет величина продольной базы  $L_{\text{пр}}$ , определяемая по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \frac{\Delta (s_{\text{пр}} \Delta G + \gamma_{\text{ср}} h_{\text{ок}} B_{\text{ок}} V (B + b_1)^2 + 4r_k^2)}{2(1 + \Delta - d - a') \gamma_{\text{ср}} h_{\text{ок}} B_{\text{ок}}}; \quad (13)$$

где  $b_1$  — ширина шин ведущих колес трактора с учетом зазора между колесом и кузовом полуприцепа и влияния размещения сцепного устройства трактора.

Размещение точки сцепа трактора с полуприцепом оказывает существенное влияние на динамику трактора. Наиболее

благоприятные результаты дает вынос точки сцепа вперед относительно оси ведущих колес трактора (глава II). Но при значительной величине выноса заметно ухудшаются маневровые свойства тракторного поезда, так как взаимные угловые перемещения трактора и полуприцепа ограничиваются упором ведущих колес трактора в дышло полуприцепа. В связи с изложенным, величина выноса точки сцепа  $x$  должна удовлетворять следующим условиям:

условие обеспечения маневренности

$$x \leq \frac{0,5(B - b - a_0) \sqrt{R_{\min}^2 - L_{\text{пп}}^2}}{L_{\text{пп}}} - r_k, \quad (14)$$

условие обеспечения управляемости и устойчивости глава (II)

$$\frac{1}{1 - m_1 \min} \operatorname{tg} \alpha_{\max} \leq \frac{a + \Delta a_{\text{пп}} [x - f(r_k - r_0)] - f(r_x + \Delta r_0)}{h + \Delta r_0 + \Delta(h'_{\text{пп}} - r'_0) [x - f(r_k - r_0)]}, \quad (15)$$

где  $a_0$  — поправка, учитывающая ширину дышла полуприцепа и зазор между дышлом и ведущим колесом трактора;

$R_{\min}$  — расчетный минимальный радиус поворота.

Для обеспечения нормальных условий движения тракторного поезда в отношении сохранения устойчивости, устойчивость полуприцепа должна быть не ниже устойчивости трактора в агрегате с этим полуприцепом.

Благодаря значительной продольной базе и соединению с трактором, полуприцеп практически при движении в различных условиях на подъеме и уклоне сохраняет продольную устойчивость.

Условие же сохранения поперечной устойчивости, как это показано в главе II, записывается в следующем виде:

$$\alpha_{\text{пп min}}^{(n)} \geq \alpha_{\text{пп min min}}^{(n)}$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пп min min}}^{(n)} \geq \operatorname{tg} \alpha_{\text{пп min min}}^{(n)}. \quad (16)$$

На основе неравенства (16) получена формула для определения величины вертикальной координаты (высоты) центра тяжести полуприцепа:

$$h_{\text{пп}} \leq \frac{2(1 - a'_{\text{пп}})[hL_{\text{пп}} + \Delta r_0(L_{\text{пп}} - 0,5B)]}{(1 + \Delta r'_{\text{пп}})\sqrt{4L_{\text{пп}}^2 + B^2} - \Delta B(1 - a'_{\text{пп}})}. \quad (17)$$

При определении разбера шин колес полуприцепа следует иметь в виду, что при  $b_0 > b$  резко возрастает сопротивление движению полуприцепа. Поэтому для принятого

общего веса тракторного полуприцепа  $Q$  и нагрузки на его колеса  $Q_2 = (1 - a'_{\text{пп}})Q$  подбираются такие шины, грузоподъемность которых равна или несколько превышает  $Q_2 = (1 - a'_{\text{пп}})Q$ , ширина профиля меньше или примерно равна ширине профиля шин задних колес трактора ( $b_0 < b$ ) и наружный диаметр имеет наименьшее для данной нагрузки  $Q_2$  значение ( $D_{\min}$ ). Принятые размеры шин проверяются на удельное давление на грунт, которое не должно превышать несущей способности грунта.

Заключительным этапом при определении основных параметров полуприцепа для сельскохозяйственного колесного трактора является проверка с помощью формул (6) и (8) соответствия принятых параметров полуприцепа условиям эксплуатации и, следовательно, параметрам трактора.

При соблюдении требований выбора оптимальных параметров полуприцепа указанное соответствие, как правило, будет иметь место. В тех же случаях, когда выявляется отсутствие требуемого соответствия, выполняется корректирование принятых параметров полуприцепа. Корректирование параметров производится путем изменения прежде всего размеров кузова полуприцепа и размеров принятых шин колес, а затем изменением относительных координат центра тяжести. Обычно изменение только размеров кузова полуприцепа дает желаемые результаты.

#### IV. Экспериментальные исследования

Выполненные экспериментальные исследования включали лабораторные спуты, с целью проверки и уточнения результатов теоретических исследований, и хозяйствственные испытания экспериментального полуприцепа.

Целью проведения экспериментальных исследований было решение следующих задач:

а) исследование влияния на управляемость трактора составляющей реакции почвы на его направляющие колеса, нормальной к поверхности пути;

б) проверка обоснованности выбора основных параметров экспериментального полуприцепа по условиям обеспечения устойчивости и управляемости трактора и тракторного поезда в целом;

в) проверка разработанной методики и формул расчета основных параметров полуприцепа для колесного сельскохозяйственного трактора;

г) проверка соответствия принятых основных параметров экспериментального полуприцепа условиям эксплуатации в сельскохозяйственном производстве Лесостепи УССР;

д) определение затрат времени на подготовительные и вспомогательные операции, выполняемые при работе колесного трактора в агрегате с полуприцепом на транспорте.

Для проведения экспериментальных исследований был использован колесный сельскохозяйственный трактор класса 0,6 тонны — трактор ДТ-20.

С целью обеспечения оптимального размещения точки сцепа трактора с полуприцепом автором были разработаны и изготовлены две конструкции автоматических сцепок [3; 6]. Установка указанных автоматических сцепок на тракторе ДТ-20 обеспечила размещение точки сцепа с экспериментальным полуприцепом впереди оси ведущих колес трактора при сохранении необходимой маневренности тракторного поезда.

Разработанная на основе выполненных теоретических исследований методика определения основных параметров полуприцепа для колесного сельскохозяйственного трактора не может быть признана достоверной, если с ее помощью не был спроектирован и изготовлен хотя бы один полуприцеп. Поэтому при проведении экспериментальных исследований особое внимание было обращено на разработку, изготовление и всестороннее испытание тракторного полуприцепа.

Автором были разработаны и изготовлены два экспериментальных полуприцепа для колесных сельскохозяйственных тракторов класса 0,6 тонны.

Результаты хозяйственных испытаний первого экспериментального полуприцепа [2] были использованы при разработке методики определения основных параметров тракторного полуприцепа.

В основу проектирования второго экспериментального полуприцепа была положена методика определения основных параметров полуприцепа, уже разработанная к началу проектирования.

С целью снижения затрат времени на выполнение вспомогательных операций на втором полуприцепе было применено разработанное автором централизованное механизированное управление, которое включило механизм блокировки шарниров и механизм управления бортами кузова [4; 7].

Для проведения исследований было необходимо определить координаты центра тяжести трактора ДТ-20 и экспериментального полуприцепа и регуляторную характеристику двигателя трактора ДТ-20. Координаты центра тяжести определяли измерением нагрузки от веса на колеса трактора и полуприцепа.

Тормозные испытания двигателя ДТ-20 с целью получения

регуляторной характеристики проводились на электрическом тормозе СТЭУ-28.

При исследовании влияния на продольную устойчивость трактора веса полуприцепа и размещения точки сцепа важно было показать, насколько конструктивно выполнимое (а не абстрактное) размещение точки сцепа и рекомендованные оптимальные веса полуприцепа отвечают предъявляемым требованиям.

С этой целью исследования проводили только при двух размещениях точки сцепа трактора ДТ-20 с полуприцепом, соответствующих установке на тракторе автоматической сцепки автора и серийного гидрофицированного прицепного крюка. Вес полуприцепа для тракторов класса 0,6 тонны при этом составлял 3000 кг и 4660 кг (рекомендован в работе Ясеневич В. Е.).

Исследования включали ряд опытов, при которых осуществлялось криволинейное (синусоидальное) движение трактора ДТ-20 с полуприцепом на участке грунтовой дороги с углом подъема 10°. Критерий устойчивости и управляемости трактора и тракторного поезда в целом — след колес трактора и полуприцепа.

Проведенные исследования показали, что при установке на тракторе разработанной автосцепки сохраняется устойчивость и управляемость трактора ДТ-20 при движении с полуприцепом весом 3000 кг (экспериментальный полуприцеп) на подъеме в 10°. В этих же условиях при установке гидрофицированного прицепного крюка трактор с указанным полуприцепом не мог двигаться на подъеме в 10° из-за потери продольной устойчивости. Трактор ДТ-20 не мог также двигаться на подъеме в 10° из-за потери устойчивости при агрегировании с полуприцепом весом 4660 кг как при установке гидрофицированного прицепного крюка, так и при установке разработанной автосцепки.

Исследования влияния полуприцепа на поперечную устойчивость трактора проводились при установившемся криволинейном движении тракторного поезда на горизонтальной грунтовой площадке, поверхность которой была выравнена и уплотнена.

При проведении опытов трактор с полуприцепом двигался по кругу с минимальным радиусом при фиксированном положении рулевого колеса. Скорость движения ступенчато от спекта к опыту повышалась.

Для обеспечения безопасности проведения опытов и предотвращения полного опрокидывания трактор был оборудован дополнительным боковым опорным колесом. Установленная на тракторе система звуковой и световой сигнализации

указывала начало опрокидывания и достижение максимального безогасного бокового крена.

В результате выполненных исследований было установлено, что полуприцепы, координаты центра тяжести и продольная и поперечная базы которых определены на основе полученных зависимостей, обеспечивают сохранение поперечной устойчивости тракторного поезда в отношении опрокидывания и бокового скольжения при высоких скоростях движения. Так, трактор ДТ-20 в агрегате с экспериментальным полуприцепом двигался по кругу с наименьшим возможным радиусом ( $R=6$  м) на максимальной транспортной скорости 5 м/сек по одному и тому же следу без опрокидывания и бокового скольжения колес.

С целью проверки допустимости упрощений, сделанных при теоретических исследований, были проведены дополнительно опыты, при которых трактор ДТ-20 без полуприцепа и навесных и прицепных машин и орудий двигался на горизонтальной грунтовой площадке по кругу с минимальным радиусом. Методика проведения опытов была та же, что и в первом случае. При проведении опытов не удалось добиться опрокидывания трактора, так как уже при скоростях движения 3,2—3,4 м/сек. и радиусе кругового движения 2,9—3,1 м начиналось боковое скольжение колес.

Расчеты, выполненные по формуле (8) по данным опытов, показали, что величина коэффициентов сцепления колес с почвой в боковом направлении для случая устойчивого движения трактора по кругу не превышала 0,4. При определении коэффициента сцепления колес с почвой в боковом направлении для статического положения трактора ДТ-20 величина его для укатанной грунтовой поверхности также составляла 0,40.

Таким образом, в результате проведения опытов было установлено, что расчеты по формулам, полученным на основании выполненных теоретических исследований, обеспечивают необходимую для практических целей точность.

Колесные сельскохозяйственные тракторы в агрегате с полуприцепом в основном используются на внутрихозяйственных перевозках. Поэтому в первую очередь исследовали влияние составляющей реакции почвы на направляющие колеса трактора  $Z_n$ , нормальной к поверхности пути, на управляемость для случая движения колесного трактора в агрегате с полуприцепом по грунтовой дороге.

Исследования проводили при круговом движении с малой скоростью (не выше 3 км/час) трактора МТЗ-50 с полуприцепом ИПС-3 по горизонтальной грунтовой укатанной площадке.

Измерение составляющей реакции почвы  $Z_n$  выполняли с помощью проволочных датчиков. Датчики (четыре) наклеивали на трубы кулаков переднего моста трактора. Выводы от полумостовой схемы этих датчиков гибким экранированным кабелем присоединяли к усилителю типа 8АНЧ-7М. Запись измеряемой величины осуществлялась восьмиканальным осциллографом типа Н-102. Приборы были смонтированы в кузове передвижной мастерской ГОСНИТИ.

Выполненные исследования показали, что:

при величинах составляющей реакции почвы на направляющие колеса трактора  $Z_n$ , близких к минимально допустимой для данных условий движения (для данных  $\phi$  и  $f$ ) величине криволинейное установившееся движение трактора приобретает характер неустойчивого, о чем свидетельствует резкое возрастание амплитуды колебаний значений  $Z_n$ ;

для колесных сельскохозяйственных тракторов отечественного производства (класса 0,6; 1,4 тонны) при расчетах для условий движения по грунтовым дорогам с полуприцепом можно принимать минимально допустимое значение коэффициента загрузки направляющих колес трактора равным 0,35.

Проведенные хозяйствственные (эксплуатационные) испытания экспериментального тракторного полуприцепа для тракторов класса 0,6 в агрегате с трактором ДТ-20 показали, что принятые на основе разработанной методики параметры полуприцепа удовлетворяли условиям работы трактора с полуприцепом на перевозках различных сельскохозяйственных грузов. Всего за время хозяйственных испытаний было перевезено более 350 тонн различных грузов.

За время хозяйственных испытаний при движении трактора ДТ-20, оборудованного разработанной автосцепкой, в агрегате с экспериментальным полуприцепом по мокрой стерне и грунтовой дороге, по тающему снегу весной и снежному покрову глубиной 0,5 м зимой и в других неблагоприятных дорожных условиях не было случаев потери устойчивости и управляемости как трактора, так и тракторного поезда в целом.

Следует отметить, что благодаря применению разработанной автосцепки, обеспечивающей размещение точки сцепа трактора с полуприцепом впереди оси ведущих колес, достигалось надежное торможение тракторного поезда при помощи только тормозов трактора.

При проведении хозяйственных испытаний было также изучено влияние на затраты времени, связанные с выполнением вспомогательных и подготовительных операций, автоматизации и механизации управления тракторными полуприцепами.

В результате проведенных хронометражных наблюдений установлено, что применение разработанной автосцепки дает возможность сократить затраты времени на присоединение и отсоединение полуприцепа в сравнении с простейшим прицепным устройством трактора соответственно на 38% и 10%, и гидрофицированным прицепным крюком — на 78% и 35%. Затраты времени на выполнение вспомогательных операций при разгрузке полуприцепа 1ПТС-3 без перестановки пальцев шарниров примерно в 18 раз и с перестановкой пальцев примерно в 20 раз больше, чем при разгрузке экспериментального полуприцепа, оборудованного разработанными автором механизмами блокировки шарниров и управления бортами [7].

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что разработанная методика определения основных параметров тракторного полуприцепа позволяет создавать конструкции полуприцепов, обеспечивающих получение высоких технико-экономических показателей работы колесных сельскохозяйственных тракторов на транспорте и предотвращение потери устойчивости и управляемости в различных дорожных условиях сельскохозяйственного предприятия как трактора, так и тракторного поезда в целом.

## ВЫВОДЫ

1. Определение оптимальной грузоподъемности полуприцепа для колесного сельскохозяйственного трактора данного мощностного класса должно производиться с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей конкретной модели трактора, а также с учетом зональных особенностей сельскохозяйственного производства.

2. Размещение точки сцепа колесного трактора с полуприцепом впереди оси ведущих колес трактора повышает не только продольную устойчивость тракторного поезда, но и способность трактора противостоять заносу, который может произойти при резком торможении тракторного поезда только тормозами трактора.

3. Оценка принятых параметров полуприцепа: относительного веса  $\Delta$ , относительных координат центра тяжести  $a'_{\text{пр}}$  и  $h'_{\text{пр}}$ , продольной координаты точки сцепа трактора с полуприцепом  $x$ , — должна производиться по критическому углу подъема для данных трактора и полуприцепа и заданных условий движения.

4. Нарушение поперечной устойчивости колесного трактора с полуприцепом и без полуприцепа в отношении бокового сползания происходит раньше, чем в отношении опрокидывания.

5. Оценка соответствия основных параметров тракторного полуприцепа условиями эксплуатации в сельскохозяйственном производстве должна выполняться по критическим углам поперечного уклона, определяемым по формулам (6) и (8).

6. Для практических целей при сравнительной оценке устойчивости тракторных поездов можно пользоваться предельными углами подъема и уклона (продольного и поперечного), определяемыми по формулам (1); (5); (7).

7. Результаты выполненных исследований могут быть использованы при проектировании тракторных полуприцепов для колесных сельскохозяйственных тракторов различных мощностных классов, так как исследования не были обусловлены какими-либо требованиями, присущими только одному классу. Полученные зависимости между параметрами трактора и полуприцепа позволяют определить прежде всего:

а) относительные координаты центра тяжести полуприцепа  $a'_{\text{пр}}$  и  $h'_{\text{пр}}$ ;

б) размеры кузова полуприцепа;

в) продольную базу  $L_{\text{пр}}$ ;

г) продольную координату точки сцепа  $x$ .

8. Разработанные автором конструкции автоматических сцепок [3; 6] целесообразно устанавливать на находящихся в эксплуатации, выпускаемых и вновь проектируемых колесных сельскохозяйственных тракторах различных мощностных классов.

9. Разработанные автором механизмы [7], обеспечивающие механизацию и автоматизацию управления тракторными полуприцепами, целесообразно использовать в проектируемых новых конструкциях тракторных полуприцепов и прицепов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Водолажченко Ю. Т., Сологуб Д. М. Експлуатація трактора ДТ-14 на транспортних роботах. Журнал «Механізація сільського господарства», 1957, № 1.

2. Сологуб Д. М. Одновісний тракторний напівпричіп. Журнал «Механізація сільського господарства», 1959, № 11.

3. Сологуб Д. М. Автоматическая сцепка для соединения полуприцепа с трактором. Журнал «Тракторы и сельхозмашины», 1960, № 2.

4. Сологуб Д. М. Механизация и автоматизация управления тракторными прицепами. Журнал «Тракторы и сельхозмашины», 1962, № 4.

5. Сологуб Д. М. Влияние полуприцепа на поперечную устойчивость баллонного трактора. Журнал «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1963, № 3.

6. Сологуб Д. М. Устройство для крепления автоматической сцепки к трактору. Авторское свидетельство № 122 988, класс 45e, 31/04; заявлено 13 ноября 1958 года.

7. Сологуб Д. М. Кузов автомобиля или полуприцепа. Авторское свидетельство № 131624, класс 63c, 39; заявлено 21 ноября 1959 г.