

УДК 631.35

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ САМОХОДНОГО КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

**О. В. РЕХЛИЦКИЙ, Ю. В. ЧУПРЫНИН, А. Я. МАШУК**

*Республиканское конструкторское унитарное предприятие  
«ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

### **Введение**

Одним из основных, наиболее важных и ответственных направлений при проектировании самоходного кормоуборочного комбайна (СКК) является создание ходовой части, обеспечивающей удовлетворительные мобильные свойства во всех условиях и на всех режимах, при которых предусмотрена его эксплуатация.

В специальной технической литературе [1]–[3] широко освещено проведение тяговых расчетов автомобилей и тракторов. Эти расчеты предполагают построение тяговых характеристик машины, которые соответствуют максимальной загрузке двигателя на различных режимах в соответствии с внешней характеристикой.

Однако ходовая часть СКК не реализует на себя всю мощность двигателя, так как основная мощность идет на привод рабочих органов. Ходовая часть СКК должна обеспечить устойчивое движение машины на заданный угол подъема в любой комплектации и во всех предусмотренных условиях эксплуатации.

Для выполнения этого требования необходимо обеспечить возможность создания ходовой частью на ведущих колесах касательной силы тяги требуемой величины. Причем мощность и характеристика двигателя при этом не являются определяющими, так как регулируемая гидростатическая передача (ГСТ), на основе которой построена ходовая часть СКК, позволяет при необходимости, снижая скорость машины, уменьшить затраты мощности на передвижение, не снижая тяговой силы.

Кроме обеспечения на ведущих колесах требуемой касательной силы тяги, необходимо, чтобы эта сила тяги могла быть реализована в качестве движущей силы. А для этого необходимо, чтобы на ведущих колесах имелся достаточный запас силы сцепления с опорной поверхностью, что, в свою очередь, зависит от величины опорной реакции и особенностей опорной поверхности.

Величина опорной реакции на ведущих колесах зависит от расположения узлов и агрегатов комбайна, а также от массы и центра тяжести конкретного навешенного адаптера.

Основной задачей на этапе проектирования СКК и его ходовой части является не только обеспечение требуемой касательной силы тяги на ведущих колесах. Необходимо также обеспечить такое расположение узлов и агрегатов, которое позволило бы обеспечить достаточную величину силы сцепления с опорной поверхностью для преодоления требуемых уклонов с любым адаптером и без него на всех типах почв, на которых предусмотрена его эксплуатация.

### **Математическая модель**

Для оценки сбалансированности требуемых тяговых и сцепных свойств комбайна воспользуемся схемой на рис. 1. Требуется пояснить, почему использована плоская схема.

Как известно, у СКК отсутствует подвеска ходовой части, а копирование рельефа поля осуществляется за счет качания моста управляемых колес. Если пренебречь трением в шарнире качания управляемого моста, нагрузка на правое и левое управляемые колеса должна быть одинаковой.

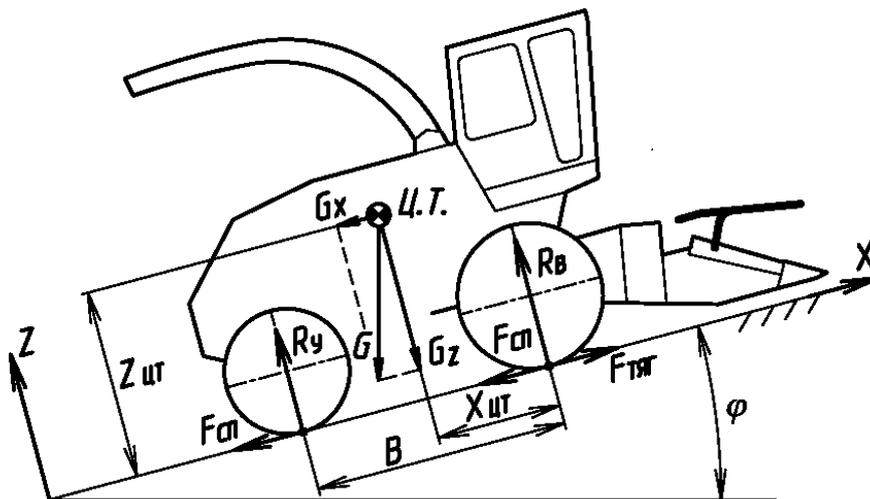


Рис. 1. Схема действия сил на комбайн, преодолевающий уклон:

$B$  – база комбайна;  $X_{цт}$ ,  $Z_{цт}$  – координаты центра тяжести комбайна;

$G$ ,  $G_x$ ,  $G_z$  – сила тяжести, ее продольная и вертикальная составляющие соответственно;

$R_b$ ,  $R_y$  – опорные реакции на колесах ведущего и управляемого мостов соответственно;

$F_{тяги}$ ,  $F_{сп}$  – сила тяги и сила сопротивления перекачиванию соответственно;

$\varphi$  – угол преодолеваемого уклона местности

Нагрузка на правое и левое колеса ведущего моста может быть разной. Но чтобы не усложнять математические выражения, влияние разницы нагрузки по бортам ведущего моста на тяговые свойства машины целесообразно учесть с помощью соответствующего коэффициента.

Опорные реакции  $R_b$  и  $R_y$  в соответствии с приведенной схемой на рис. 1 определяются выражениями (1) и (2):

$$R_y = \frac{G}{B} (Z_{цт} \cdot \sin(\varphi) + X_{цт} \cdot \cos(\varphi)); \quad (1)$$

$$R_b = \frac{G}{B} \cdot ((B - X_{цт}) \cos(\varphi) - Z_{цт} \cdot \sin(\varphi)). \quad (2)$$

Величина потребной силы тяги  $F_{тяги}^{треб}$  на колесах ведущего моста описывается выражением (3):

$$F_{тяги}^{треб} = G (f_{сп} \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi)), \quad (3)$$

где  $f_{сп}$  – коэффициент сопротивления перекачиванию.

Отношение суммарной максимальной касательной силы тяги на всех ведущих колесах к весу комбайна называют коэффициентом тяги, который характеризует потенциальные тяговые свойства комбайна и описывается выражением (4):

$$K_{тяги}^{max} = \frac{F_{тяги}^{max}}{G}. \quad (4)$$

Если в выражении (3) пренебречь влиянием угла преодолеваемого уклона на величину опорной реакции на колесах с учетом того, что для углов  $\varphi = 0 \dots 15^\circ$  значение  $\cos(\varphi) \approx 1$ , можно получить упрощенную формулу для определения предельного угла преодолеваемого уклона по максимальной касательной силе тяги (5):

$$\varphi_{\text{тяг}}^{\max} = \arcsin(K_{\text{тяг}}^{\max} - f_{\text{сп}}). \quad (5)$$

Выражение (5) удобно своей простотой и легко может использоваться на предварительном этапе компоновки комбайна для ориентировочной оценки тяговых свойств и подбора максимальной касательной силы тяги трансмиссии по критерию заданного преодолеваемого уклона.

Для того чтобы касательная сила тяги на ведущих колесах была реализована в качестве силы,двигающей комбайн, ее величина не должна превышать предельной силы сцепления ведущих колес с опорной поверхностью, которая, в свою очередь, равна произведению нормальной реакции на ведущих колесах на коэффициент предельного сцепления (6):

$$F_{\text{сц}} = R_{\text{в}} \cdot f_{\text{сц}}, \quad (6)$$

где  $f_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления с опорной поверхностью.

Если приравнять потребную тяговую силу (3) предельной силе сцепления ведущих колес с опорной поверхностью (6), то с учетом значения опорных реакций (1) и (2) можно получить выражения для величины предельного угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления ведущих колес с опорной поверхностью для комбайна с ведущим мостом, расположенным впереди (7) и сзади (8) по ходу движения:

$$\varphi_{\text{сц}}^{\max} = \arctg \left( \frac{f_{\text{сц}} \cdot K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}} \left( 1 - \frac{X_{\text{цт}}}{B} \right) - f_{\text{сп}}}{1 + f_{\text{сц}} \cdot K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}} \frac{Z_{\text{цт}}}{B}} \right); \quad (7)$$

$$\varphi_{\text{сц}}^{\max} = \arctg \left( \frac{f_{\text{сп}} - f_{\text{сц}} \cdot K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}} \frac{X_{\text{цт}}}{B}}{1 - f_{\text{сц}} \cdot K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}} \frac{Z_{\text{цт}}}{B}} \right); \quad (8)$$

$$K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}} = \frac{2R_{\text{min}}}{R_{\text{ВМ}}}, \quad (9)$$

где  $K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}}$  – коэффициент использования (участия) сцепного веса ведущего моста, имеющего делящий дифференциал в формировании предельной силы сцепления, который учитывает перераспределение опорной реакции между правым и левым колесами ведущего моста;  $R_{\text{min}}$  – нагрузка на наименее нагруженное колесо ведущего моста;  $R_{\text{ВМ}}$  – нагрузка на ведущий мост.

Для определения нагрузки на правое и левое колеса ведущего моста целесообразно воспользоваться выражениями, приведенными в литературе [4].

Коэффициент  $K_{\text{ИСВ}}^{\text{ВМ}}$  позволяет достаточно просто учесть влияние разницы нагрузки между левым и правым ведущими колесами комбайна на формирование предельной силы сцепления, не перегружая выражения (7) и (8) векторными выраже-

ниями по определению нагрузки на все колеса по трехточечной схеме [4], так как независимо от величины угла продольного наклона местности, соотношение между нагрузкой на правое и левое ведущие колеса сохраняется.

Предложенный математический аппарат позволяет просто и с достаточной точностью на этапе предварительной компоновки подобрать требуемые параметры ходовой части и такое рациональное расположение узлов и агрегатов комбайна, чтобы обеспечить ему требуемые мобильные свойства во всех условиях и в любой комплектации, в которых предусмотрена его эксплуатация.

Необходимо также отметить, что приведенные выше выражения (1)–(4) и (6) в той или иной интерпретации встречаются в специальной технической литературе, и в данной работе они приведены для более полного понимания излагаемого материала. Выражения (5), (7)–(9) предложены авторами данной статьи.

### Анализ влияния параметров

Когда при проведении проектировочного тягового расчета на начальном этапе компоновки осуществляется подбор всех параметров СКК с целью обеспечения требуемых мобильных свойств, очень важно иметь информацию о влиянии различных параметров на тяговые свойства комбайна.

На рис. 2 приведены графики зависимости потребной тяговой силы и предельной силы сцепления от угла преодолеваемого уклона для кормоуборочного комбайна «Полесье-800» с навешенной жаткой для грубостебельных культур ЖГР-4,5 на различных почвах. Предельный угол преодолеваемого уклона соответствует точке пересечения линии силы тяги с соответствующей линией силы сцепления.

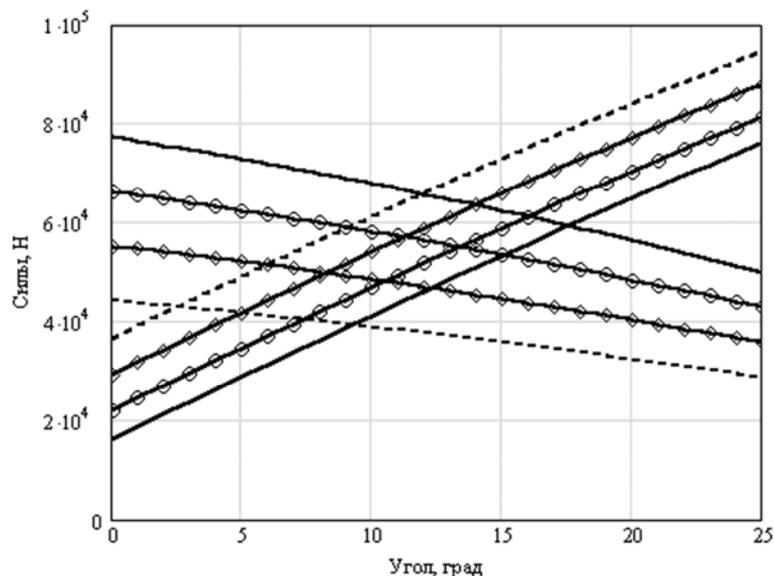


Рис. 2. Графики зависимости потребной тяговой силы ( $H$ ) и предельной силы сцепления ведущих колес ( $H$ ) от угла преодолеваемого уклона (град) при движении кормоуборочного комбайна «Полесье-800» с навешенной жаткой ЖГР-4,5 для различных величин коэффициентов сцепления  $f_{сц}$  и коэффициентов сопротивления перекачиванию  $f_{сн}$ :  
 потребная сила тяги – растущие линии снизу вверх  $f_{сц} = 0,10; 0,15; 0,2; 0,25$ ;  
 предельная сила сцепления – падающие линии снизу вверх  $f_{сц} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$

Несколько иной характер аналогичные графики будут иметь при движении этого же комбайна, когда жатка находится на транспортной тележке (рис. 3).

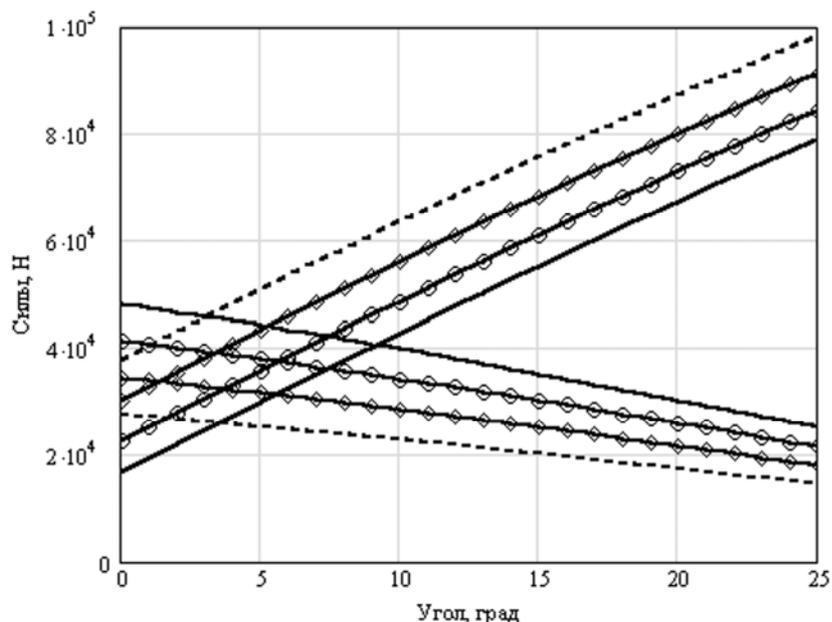


Рис. 3. Графики зависимости потребной тяговой силы ( $H$ ) и предельной силы сцепления ведущих колес ( $H$ ) от угла преодолеваемого уклона (град) при движении кормоуборочного комбайна «Полесье-800» с жаткой ЖГР-4,5 на транспортной тележке для различных величин коэффициентов сцепления  $f_{сц}$  и коэффициентов сопротивления перекачиванию  $f_{сп}$ :  
 потребная сила тяги – растущие линии снизу вверх  $f_{сп} = 0,10; 0,15; 0,2; 0,25$ ;  
 предельная сила сцепления – падающие линии сверху вниз  $f_{сц} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$

По приведенным графикам (рис. 2 и 3) видно, что кормоуборочный комбайн «Полесье-800» спроектирован таким образом, что сохраняет удовлетворительные мобильные свойства в различных условиях, что подтверждено многолетней практикой эксплуатации этой машины. Для достижения такого результата при проектировании этой машины было учтено влияние всех необходимых параметров и выбрано их рациональное сочетание.

Проиллюстрируем на примере комбайна «Полесье-800» влияние некоторых параметров на его тяговые свойства.

На рис. 4 показаны графики зависимости предельного угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления с опорной поверхностью от горизонтальной координаты центра тяжести комбайна при движении с навешенной жаткой ЖГР-4,5 на различных почвах. На рис. 5 показаны аналогичные графики в зависимости от величины базы.

Как видно из приведенных зависимостей, смещение назад центра тяжести снижает величину угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления. Увеличение базы комбайна приводит к нелинейному росту угла преодолеваемого уклона.

Знание таких закономерностей по этим и всем другим массово-геометрическим параметрам позволяет в процессе проектирования кормоуборочного комбайна целенаправленно двигаться к заданным показателям.

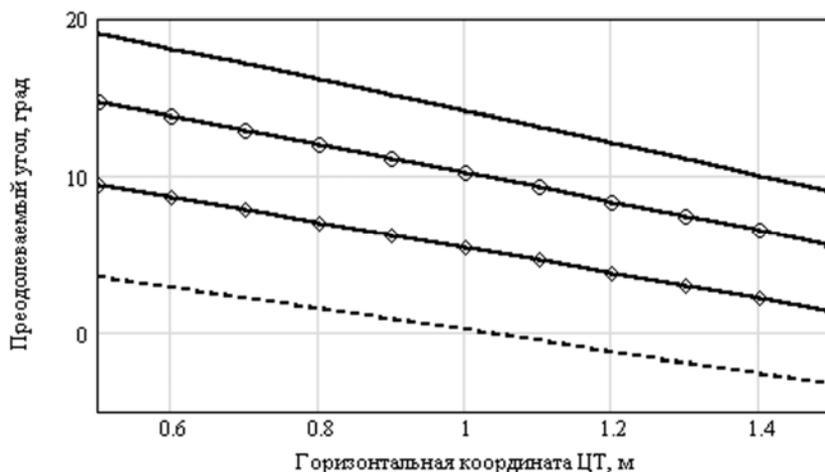


Рис. 4. Графики зависимости предельного угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления для комбайна «Полесье-800» с навешенной жаткой ЖГР-4,5 от горизонтальной координаты центра тяжести для различных опорных поверхностей: сверху вниз: 1 –  $f_{\text{сп}} = 0,10$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,7$ ; 2 –  $f_{\text{сп}} = 0,15$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,6$ ; 3 –  $f_{\text{сп}} = 0,2$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,5$ ; 4 –  $f_{\text{сп}} = 0,25$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,4$

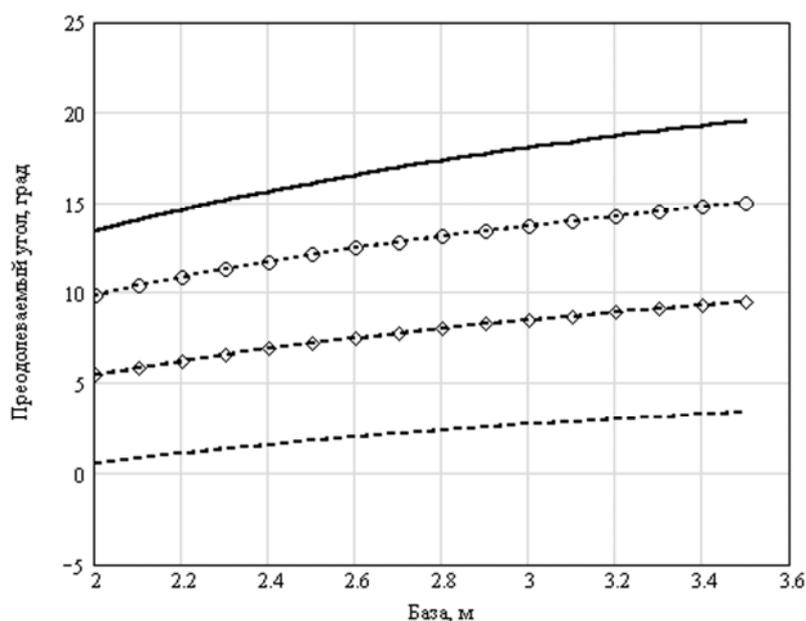


Рис. 5. Графики зависимости предельного угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления для комбайна «Полесье-800» с навешенной жаткой ЖГР-4,5 от величины базы для различных опорных поверхностей: сверху вниз: 1 –  $f_{\text{сп}} = 0,10$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,7$ ; 2 –  $f_{\text{сп}} = 0,15$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,6$ ; 3 –  $f_{\text{сп}} = 0,2$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,5$ ; 4 –  $f_{\text{сп}} = 0,25$ ;  $f_{\text{сц}} = 0,4$

### Заключение

1. Предельный угол преодолеваемого уклона зависит не только от потенциальных тяговых свойств ходовой части, но и от характера перераспределения нагрузки между ведущими и ведомыми колесами, и определяется по критерию потери сцепления ведущих колес с опорной поверхностью.

2. Максимальную тяговую силу на ведущих колесах при проектировании комбайна необходимо подбирать для заданного угла преодолеваемого уклона в конкретных условиях эксплуатации с учетом предельного угла по критерию сцепления

в этих условиях. Если не учитывать это условие, то тяговая сила на ведущих колесах окажется излишней и не сможет быть реализована в качестве движущей силы.

3. Предельный угол преодолеваемого уклона по критерию сцепления с опорной поверхностью при одинаковых условиях зависит от геометрических и массовых параметров комбайна. Для облегчения рационального подбора компоновочной схемы комбайна на этапе проектирования важно знать направление и степень влияния различных параметров на тяговые свойства. Так, например, при движении комбайна ведущими колесами вперед смещение назад продольной координаты центра тяжести снижает величину угла преодолеваемого уклона по критерию сцепления. Подъем центра тяжести также приводит к некоторому снижению этого угла. Увеличение базы машины приводит к нелинейному росту угла преодолеваемого уклона.

Приведенное математическое описание позволяет на начальном этапе проектирования самоходного кормоуборочного комбайна осуществлять целенаправленный подбор рациональных параметров для обеспечения приемлемых тяговых свойств во всех предусмотренных условиях эксплуатации.

### Литература

1. Чудаков, Д. А. Основы теории трактора и автомобиля / Д. А. Чудаков – М. : Изд-во с.-х. лит., 1962.
2. Гуськов, В. В. Тракторы, теория / В. В. Гуськов. – М. : Машиностроение, 1988.
3. Скотников, В. А. Проходимость машин / В. А. Скотников, А. В. Пономарев, А. В. Климанов. – Минск : Наука и техника, 1982.
4. Рехлицкий, О. В. Рациональное распределение массы по опорам самоходного кормоуборочного комбайна / О. В. Рехлицкий, Ю. В. Чупрынин // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 4. – С. 49–57.

*Получено 04.02.2014 г.*