

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ КРЮКОВОГО УСИЛИЯ

д.т.н. Гапич Д.С., Привалов В.А.

Волгоградский государственный аграрный университет
Gds-08@mail.ru

Основными источниками неравномерности воздействия почвенного фона на работу машинно-тракторного агрегата (МТА) являются: неравномерность поверхности почвенного фона и неоднородность почвенных включений в нем, непостоянство крюкового усилия во времени или по пройденному пути. Первая группа причин формирует дополнительное сопротивление перекачиванию трактора, вторая группа причин является источником постоянного перераспределения вертикальных нагрузок на мосты трактора, генерирующим его продольные угловые колебания. Такой случайный характер нагружения и генерируемый им спектр воздействий со стороны почвенного фона с разными сдвигами фаз относительно друг друга вполне может обеспечить непрерывное снижение несущей способности почвы, приводящей к разбросу коэффициента буксования трактора по отдельным кривым буксования.

Детерминированный анализ явлений, возникающих при взаимодействии ведущих колес с почвой, в описанных условиях эксплуатации, позволил разработать математическую модель по прогнозированию тягово-сцепных показателей колесных тракторов различных конструктивных схем, учитывающую конструктивные параметры трактора, геометрические характеристики шины ведущего колеса, физико-механические свойства почвенного фона, а также частоту и амплитуду колебания крюкового усилия. Другие факторы, такие как инерционные и упругие свойства элементов силовой передачи, возможность самогенерации устойчивых колебаний действующих усилий в пятне контакта за счет периодичности смены почвозацепов шины, рассматривались в модели как постоянные в существующих условиях нагружения.

Расчет по данной модели, в конечном счете, позволил получить статическую и динамическую кривую буксования трактора с колесной формулой 4К2.

В целом представленная теоретическая оценка скоростных тяговых средств доказала необходимость учитывать снижение тяговых показателей сельскохозяйственных тракторов при увеличении степени неравномерности нагрузки на крюке.

Ключевые слова: трактор; машинно-тракторный агрегат; буксование; ведущее колесо; почва.

Введение

Физико-механические свойства почв засушливых зон исключают появление производственных полей с идеальными (изотропными) свойствами почвенного покрова. Наличие плохо разделяемых почвенных образований (солонцов) создает условия для усиления силовых воздействий со стороны почвы на ходовую систему и формирует процесс взаимодействия шин с почвой, как ударный со всеми вытекающими отсюда негативными явлениями, вызывающими повышение энергетических затрат на самопередвижение МТА (силовых и кинематических). На этих полях взаимодействие движителей трактора с почвой зависит от скорости агрегата как характеристики уровня силового импульса взаимодействия шин и почвы.

В общем случае источниками неравномерности воздействия почвенного фона на работу МТА являются:

- неравномерности поверхности почвенного фона и неоднородности почвенных включений в нем;
- непостоянство силового воздействия почвообрабатывающего орудия на трактор (непостоянство крюкового усилия во времени или по пройденному пути).

Первая группа причин формирует дополнительное сопротивление перекачиванию самого трактора (как заднего, так и переднего моста) за счет непрерывного изменения динамического радиуса колеса при вертикальных колебаниях остова трактора.

Вторая группа причин является источником постоянного перераспределения вертикальных нагрузок на мосты трактора, генерирующим продольные угловые колебания трактора на его мостах.

Такой случайный характер нагружения и генерируемый им спектр воздействий со стороны почвенного фона с разными сдвигами фаз относительно друг друга вполне может обеспечить снижение несущей способности почвы, приводящей к разбросу коэффициента буксования трактора по отдельным кривым буксования.

Детерминированный анализ явлений, возникающих при взаимодействии ведущих колес с почвой, в описанных условиях позволил оценить влияние продольно-угловых колебаний остова трактора, частоты и амплитуды колебания крюкового усилия на тягово-сцепные показатели колесного трактора.

Целью исследования является прогнозирование тягово-сцепных показателей колесных тракторов при динамическом характере крюкового усилия.

Материалы, методы и результаты исследования

Математическая модель по прогнозированию тягово-сцепных свойств колесных тракторов различных конструктивных схем, учитывающая конструктивные параметры трактора, геометрические характеристики шины ведущего колеса, физико-механические свойства почвенного фона, подробно представлена в работе [1]. Суть ее в следующем. Для колесного движителя можно аналитическим путем рассчитать три характерные точки, определяющие основные режимы его работы: 1 – $(1; P_{Tmax})$ – максимальное тяговое усилие, реализуемое колесом; 2 – $(\delta_{cp}; P_{Tcp})$ – коэффициент буксования, при котором наступает сдвиг всех «почвенных кирпичей» в пятне контакта шины с почвой, и соответствующее ему тяговое усилие, развиваемое движителем; 3 – $(\delta_{дэ}; P_{Тдэ})$ – допустимый коэффициент буксования по экологическому признаку и соответствующее ему тяговое усилие. Вся кривая буксования аппроксимируется дробно-рациональной функцией профессора Н.К. Куликова:

$$Q_w = \frac{T - T_0}{\frac{1}{\alpha_k \cdot F_d} + R_k + R_{\alpha 0}}, \quad (1)$$

где $p = P_T / P_{Tmax}$ – относительное тяговое усилие, представляющее собой отношение тя-

гового усилия, развиваемого движителями, к максимально возможному такому усилию по сцеплению колеса с почвой; k_δ – коэффициент пропорциональности.

Основные параметры функции p и k_δ представленной аппроксимации определяются аналитически по значениям коэффициента буксования и соответствующего ему тягового усилия на режиме 3 – $(\delta_{дэ}; P_{Тдэ})$.

Расчет по данной модели в конечном счете позволяет получить статическую кривую буксования трактора с колесной формулой 4К2. Для колесного трактора класса 14кН результаты расчета представлены на рис. 1 (кривая 1). Такие статические кривые буксования характерны при проведении тяговых испытаний тракторов на машинно-испытательных станциях (МИС), когда в качестве загрузочного устройства используется другой трактор или тягач. Результаты расчета достаточно хорошо согласуются с такими экспериментальными данными [2], рис. 1 (экспериментальные точки – 2).

Расположение экспериментальных данных, полученных при работе с реальным почвообрабатывающим орудием, рис. 1 (кривая 3), выше расчетной статической зависимости $\delta(P_T)$ явно говорит о влиянии на коэффициент буксования трактора не учтенных в математической

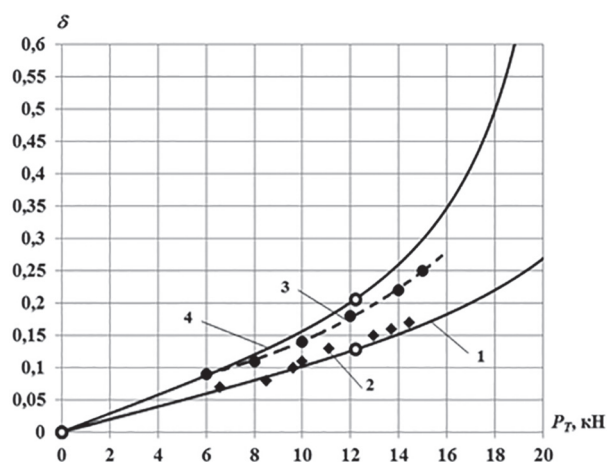


Рис. 1. Кривые буксования колесного трактора класса 14кН, фон – стерня:

- 1 – статическая расчетная кривая буксования;
- 2 – экспериментальные значения коэффициента буксования трактора при работе с постоянной крюковой нагрузкой;
- 3 – экспериментальная кривая буксования трактора при работе с почвообрабатывающим орудием (динамическая экспериментальная кривая буксования);
- 4 – динамическая расчетная кривая буксования

модели динамических процессов, характерных для работы МТА в реальных условиях эксплуатации.

Основными факторами, определяющими процесс буксования колесного трактора, является неустановившийся характер крюкового усилия и вертикальные колебания трактора. Другие факторы, такие как свойства почвы, инерционные и упругие свойства элементов силовой передачи, возможность самогенерации устойчивых колебаний действующих усилий в пятне контакта за счет периодичности смены почвозацепов шины, можно рассматривать как постоянные в существующих условиях нагружения.

Для оценки влияния амплитуды $A_{p_{кр}}$ и частоты колебаний λ крюкового усилия на коэффициент буксования трактора с колесной формулой 4К2 рассмотрена математическая модель нагружения трактора переменным крюковым усилием:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \frac{(P_{кр} + P_{дл}) - 2P_{п}}{m\omega} \cdot \frac{i_{мп}}{r_d} + \frac{1-\delta}{\omega} \cdot \frac{d\omega}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J + \frac{2J_k}{i_{тр}^2}} \left[M_{дв} - \frac{2(P_T + P_{жв})}{\eta_{тр} \cdot i_{тр}} r_d \right] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где J – приведенный момент инерции маховика, кг·м²; J_k – момент инерции ведущего колеса, кг·м²; ω – угловая скорость коленчатого вала двигателя, рад/с; $P_{жв}$ – сила сопротивления движению ведущего колеса, Н; $M_{дв}$ – крутя-

щий момент на коленчатом валу двигателя, Н·м; m – масса трактора, кг; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; $P_{п}$ – сила сопротивления горизонтального смятия почвы, Н; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; r_d – динамический радиус колеса, м.

Решение дифференциальных уравнений системы (2) методом кусочно-линейной аппроксимации в среде Mathcad [3] позволило получить расчетную реализацию коэффициента буксования трактора при нагружении его реальным крюковым усилием (рис. 2), последующая обработка которой определила среднее значение динамического коэффициента буксования.

Частота колебаний коэффициента буксования, полученная по спектральной плотности расчетной реализации коэффициента буксования, позволила оценить по формуле (3) ускорение этих колебаний, вызывающих снижение несущей способности почвы в горизонтальном направлении, которое выражается в понижении тангенса угла внутреннего трения почвы $\text{tg}(\varphi)$ [4].

$$a = \Delta\delta \cdot S \cdot \lambda_{рас}^2, \quad (3)$$

где $\Delta\delta = \delta_0 - A(\delta)$ – отклонение коэффициента буксования от его среднего значения; S – круговой шаг почвозацепа шины, м; $\lambda_{рас}$ – расчетная частота колебаний коэффициента буксования, соответствующая максимальному значению амплитуды колебаний, Гц.

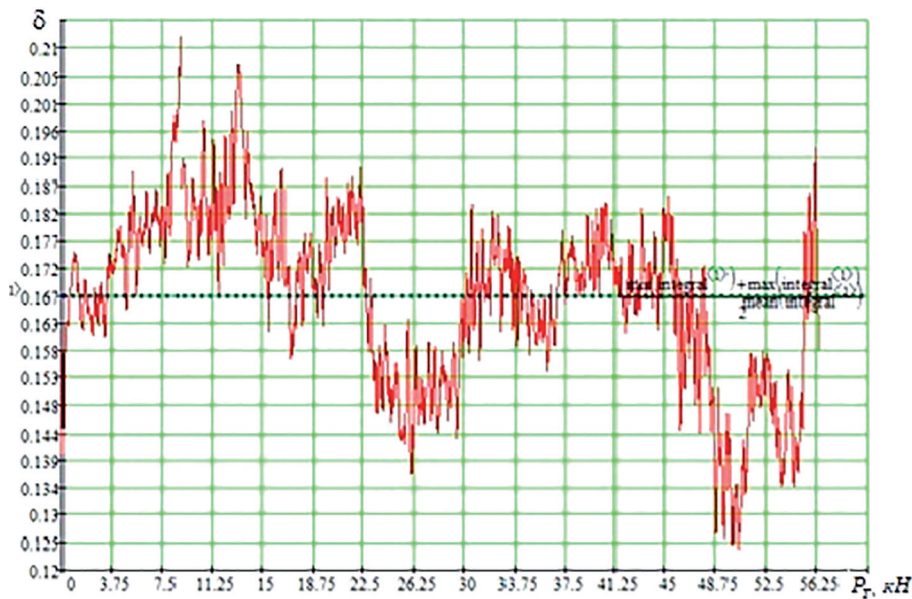


Рис. 2. Расчетная реализация коэффициента буксования трактора МТЗ-80Л, нагруженного переменным крюковым усилием

На основе этого скорректированы параметры дробно-рациональной функции, аппроксимирующей динамическую кривую буксования, рисунок 1 (кривая 4):

$$P_{T_{\max}(\text{tg}\varphi)} = \text{tg}'(\varphi) \cdot P_{T_{\max}}, k_{\delta} = \frac{\delta_0 \cdot (1 - p'^3)}{p' - \delta_0 \cdot p'^3}, \quad (4)$$

где $\text{tg}'(\varphi)$ – новое пониженное значение $\text{tg}(\varphi)$; δ_0 – среднее значение динамического коэффициента буксования; – скорректированное относительное тяговое усилие в точке допустимого буксования, $p' = \frac{P}{P_{T_{\max}}}$.

Выводы

1. Анализ приведенных зависимостей по оценке динамического характера нагружения трактора крюковым усилием на процесс буксования показывает, что с увеличением интенсивности изменения крюкового усилия трактора динамический (средний за период) коэффициент буксования возрастает. Это увеличение определяется величиной среднего тягового усилия движителей, амплитудой и частотой его изменения; чем больше указанные параметры, тем больше динамический коэффициент буксования. Явление это связано с нелинейностью зависимости $\delta = f(p)$, а также генерацией ускорения колебаний горизонтальной деформации почвы, вызывающих снижение прочностных параметров несущей способности почвы в горизонтальном направлении.

2. Представленный математический аппарат позволяет при наличии экспериментальных данных (осциллограмм крюкового усилия) оценивать снижение тяговых показателей колесных тракторов по аналитической области распределения коэффициента буксования трактора, расположенной между стационарной и динамической кривой буксования.

3. В целом представленный материал по изучению влияния эксплуатационных условий работы (реализуемое крюковое усилие) МТА на его выходные показатели (коэффициент буксования, при котором эта реализация обеспечивается, а значит и его производительность) указывает не только на экспериментальную возможность снижения эффективности использования скоростной сельскохозяйственной техники, но и помогает обосновать основы теории взаимодействия движителей скоростных тракторов, подтверждающих закономерность появления отмеченных в эксплуатации МТА негативных явлений.

Такая теоретическая оценка скоростных тяговых средств доказала необходимость учитывать снижение тяговых показателей сельскохозяйственных тракторов при увеличении степени неравномерности нагрузки на крюке и принимать меры по устранению описанных негативных последствий повышения рабочих скоростей МТА [5].

Литература

1. Гапич Д.С., Несмиянов И.А., Ширяева Е.В. Теоретическая оценка тягово-сцепных характеристик колесных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 7. С. 19–22.
2. Гапич Д.С. К вопросу о тяговых испытаниях колесных тракторов различных конструктивных схем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 1. С. 229–234.
3. Гапич Д.С., Ширяева Е.В. Использование метода «припасовывания» при оценке динамики буксования колесного трактора // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве. 30 января – 1 февраля 2013г. г. Волгоград. Том 5. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2013. С. 205–210.
4. Кузнецов Н.Г., Гапич Д.С., Ширяева Е.В. Динамика процесса буксования колесного трактора кл. 1,4 // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 12. С. 23–26.
5. Кузнецов Н.Г., Гапич Д.С., Шишкин А.В. Снижение динамической нагруженности МТА // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 2. С. 18–19.

References

1. Gapich D.S., Nesmiyanov I.A., Shiryayeva E.V. Theoretical evaluation of traction characteristics of a wheeled tractor. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012. No 7, pp. 19-22 (In Russ.).
2. Gapich D.S. Traction tests of wheeled tractors of different constructive schemes. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga agrouniversity complex: science and higher professional education]. 2014. No 1, pp. 229-234 (In Russ.).
3. Gapich D.S., Shiryayeva E.V. The use of method of "fitting" in assessing the dynamics of the slipping of wheel tractor *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-*

letiyu Pobedy v Stalingradskoy bitve. 30 yanvarya – 1 fevralya 2013 g. g. Volgograd. Tom 5 [Materials of International scientific-practical conference dedicated to the 70th anniversary of Victory in Stalingrad battle. 30 January – 1 February 2013. Volgograd. Volume 5]. Volgograd. FGBOU VPO Volgogradskiy GAU, 2013. pp. 205-210 (In Russ.).

4. Kuznetsov N.G., Gapich D.S., Shiryayeva E.V. The dynamics of the process of slipping of class 1,4 wheeled tractor. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012. No 12, pp. 23-26 (In Russ.).
5. Kuznetsov N.G., Gapich D.S., Shishkin A.V. Reduction of dynamic loads of machine-tractor unit. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2010. No 2, pp. 18-19 (In Russ.).

PREDICTION OF TRACTION INDICATORS OF WHEELED TRACTORS UNDER DYNAMIC NATURE OF HOOKING STRAIN

Dr.Eng. **D.S. Gapich, V.A. Privalov**
Volgograd State Agricultural University
Gds-08@mail.ru

The main sources of the uneven impact of soil background on the work of machine-tractor unit is the unevenness of the surface of the soil background and the heterogeneity of soil inclusions in it, impermanence of hooking strain in time or traveled distance. The first group of causes forms the additional resistance to rolling of the tractor, the second group of reasons is a source of constant redistribution of vertical loads on tractor axles, generating its longitudinal angular vibrations. This random nature of loading and the spectrum of the generated effects from the soil background, with different phase displacements relative to each other may provide a continuous decline in bearing capacity of soil, leading to the variation of the coefficient of slipping of the tractor by separate curves of slipping.

A deterministic analysis of the phenomena arising from the interaction of wheels with the soil in the described conditions allowed to develop a mathematical model for predicting the traction indicators of wheeled tractors of different design schemes, that takes into account the constructive parameters of the tractor, the geometric characteristics of the tire of the drive wheel, physico-mechanical properties of soil background, as well as the frequency and the amplitude of the hooking strain. Other factors, such as the inertial and elastic properties of the elements of power transmission, the possibility of self-generation of stable oscillations of the effective forces in the contact patch due to the periodicity of the change of tire grousers were considered in the model as constant in existing loading conditions. The calculation for this model, ultimately, allowed us to obtain static and dynamic curve of slipping of the tractor with the wheel formula 4x2.

In general, theoretical evaluation of high-speed traction methods proved the necessity to take into account the reduced traction of agricultural tractors with increasing degree of uneven load on the hook.

Keywords: tractor, machine-tractor unit, skidding, driving wheel, soil.