

ОЦЕНКА ПРОХОДИМОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

К.Т. БЕЛЯК, Н.И. БОХАН, И.С. КРУК, А.В. КОСТЮЧЕНКО

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Приведена оценка проходимости машинно-тракторных агрегатов (МТА), вытекающая из необходимости условий функционирования системы «почво-грунт–машинно-тракторный агрегат».

The estimation of passableness of machine-tractor units, coming from necessity of conditions of functioning of system is resulted «Soil-ground–machine-tractor unit»

Введение

К мобильным агрегатам предъявляются разнообразные требования, вытекающие из необходимости условий функционирования системы «почво-грунт–машинно-тракторный агрегат», заключающейся в том, что несущая поверхность является сложнейшей биологической средой.

Игнорирование этого обстоятельства и отношение к почве только как к среде, обеспечивающей реализацию тягового усилия мобильной техники и функции несущего основания, приведет к нежелательным отрицательным последствиям: переуплотнению почвы и разрушению ее структуры, эрозии, ухудшению плодородия и, как следствие, снижению урожайности различных культур.

В настоящее время научно обосновано и экспериментально доказано, что почва-грунт уплотняется движителями практически всех видов мобильной техники, что приводит к нарастающему во времени уплотнению и снижению плодородия почв, ухудшению технологических характеристик и повышению энергозатрат по ее обработке.

Основная часть

С целью создания высокоэффективной мобильной техники на государственных испытаниях образцы машин должны быть оценены по критерию «проходимость» с определением значения всех оценочных показателей, характеризующих это качество.

Проходимость мобильной техники – это прежде всего эксплуатационное качество. Оно включает не только взаимодействие ходовых систем машин с почво-грунтом и реализацию тягово-оценочных свойств, но и воздействие их на почво-грунт как биологическую среду, корневую и надземную часть возделываемых культур при условии сохранения плодородия грунта и максимальной урожайности.

В понятие проходимости мобильных машин при выполнении работ входит способность мобильных машинно-тракторных агрегатов и самоходных машин в процессе движения выполнять технологические процессы с максимальной производительностью (максимальным значением КПД движителя), обеспечивая при этом заданные режимы и качественные показатели при соответствующем сохранении плодородия почвы.

Оценочными показателями опорных, тягово-цепных и агротехнических свойств проходимости

мобильных агрегатов в различных эксплуатационных условиях являются: h – глубина следа; $\Delta\rho$ – прирост плотности почво-грунта; γ_p – степень повреждения растений; $\eta_{\text{движ}}$ – коэффициент полезного действия движителей; f – коэффициент сопротивления качению агрегата; φ_k – коэффициент использования сцепного веса агрегата; δ – буксование движителей.

К обобщенным оценочным показателям проходимости относятся: ΔW – снижение производительности МТА из-за буксования движителей и повышенных энергозатрат при образовании следов; ΔY – снижение урожайности сельскохозяйственных культур из-за повреждения растений, уплотнения и истирания почво-грунта.

Так как часто результаты испытаний отдельных конкретных сельскохозяйственных агрегатов не доводятся до урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур, то в этих случаях вместо урожайности с.-х. культур обобщенными показателями могут быть прирост плотности почвогрунта $\Delta\rho$ и глубина следа h , непосредственно влияющих на плодородие почвы и урожайность возделываемых культур.

Выбор этих показателей проходимости осуществлялся из условий, что оценочные показатели должны удовлетворять следующим требованиям:

- представлять собой величину, которая является производной процесса функционирования системы и значение которой просто находится опытным путем;
- показатель должен быть информативным, т.е. наиболее полно характеризовать одно из свойств системы.

На рисунке 1 приведена схема и показатели функционирования системы «почво-грунт–МТА» с выделением выходных оценочных показателей опорных, тягово-цепных и агротехнических свойств МТА и самоходных машин.

Оценочные показатели опорных, тягово-цепных и агротехнических свойств МТА определяются следующим образом.

Глубину следа определяют на учетных делянках длиной 50 м в трехкратной повторности на различных рабочих скоростях движения. Для определения средней глубины следа измеряются размеры сечения его не менее чем в 10 случайных расположенных точках по длине следов правого и левого колес с помощью следомера.

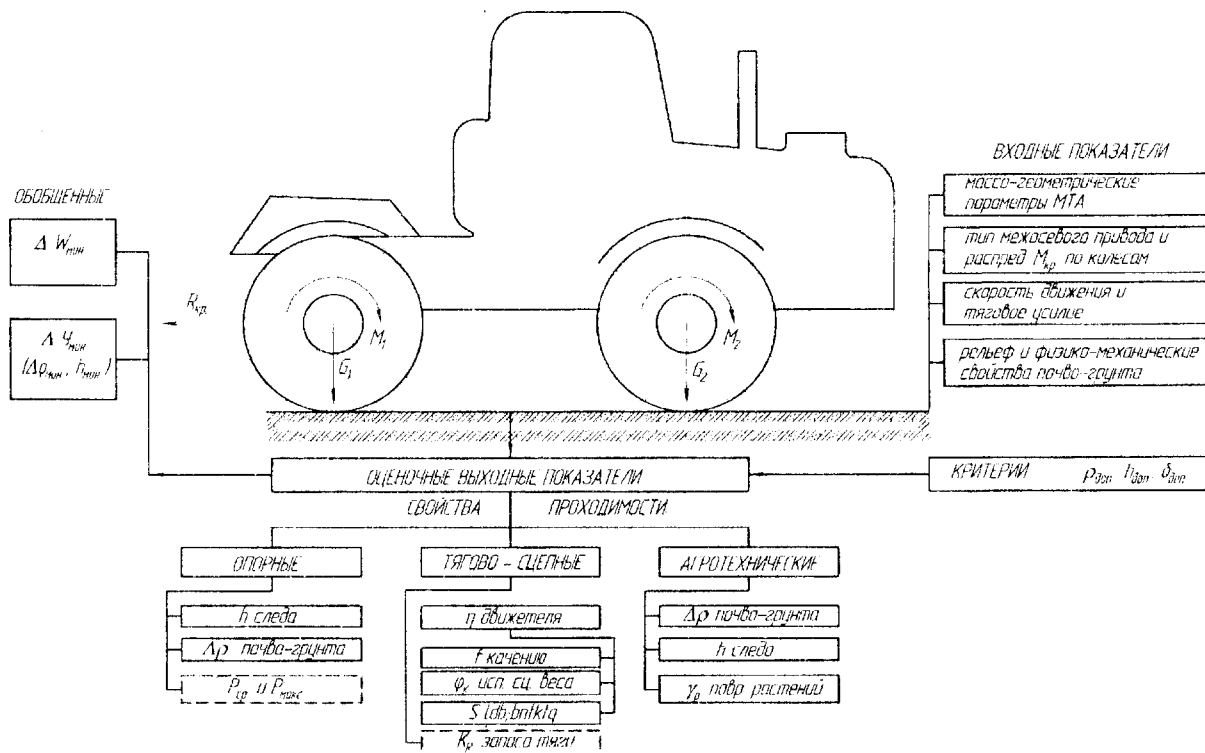


Рис. 1. Оценочные показатели функционирования системы «почво-грунт–МТА»

Количество измеряемых ординат в плоскости, перпендикулярной направлению движения, выбирают таким, чтобы можно было построить сечение следа с шагом не менее 50 мм.

Глубина h следа определяется по формуле:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{h_1} \sum_{j=1}^{h_2} h_{ij}}{h_1 h_2},$$

где h_{ij} – значение j -го измерения ординаты глубины следа в i -ом сечении, см; h_1 – количество измерений вдоль следа; h_2 – количество измерений ординат в i -ом сечении.

Плотность минерального почво-грунта определяется экспериментально с помощью специального прибора. Пробы почво-грунта на плотность целесообразно брать в слоях 0...5,5...10 и т.д. до глубины возможного уплотнения его слоев (30...40 см и более) по следу МТА не менее чем в 5 точках. При оценке уплотняющего воздействия движителей МТА на почво-грунт определяют прирост уплотнения в различных слоях по формуле:

$$\Delta \rho_i = \rho_{ki} - \rho_{oi} \text{ (г/см}^3\text{)},$$

где ρ_{ki} – плотность почво-грунта в i -ом слое колеи после прохода МТА, г/см³; ρ_{oi} – плотность почво-грунта в i -ом слое вне следа МТА, г/см³.

Степень повреждения растений определяется методом наложения рамки шириной, равной ширине захвата машины, и длиной 0,5 м на площадку,

на которой подсчитывают общее число и число поврежденных (погибших) растений по формуле:

$$\gamma_p = \frac{n_{ов}}{n_{общ}} \cdot 100,$$

где γ_p – степень повреждения растений, %; $n_{ов}$ – количество поврежденных растений на учетной площадке по следу правого и левого движителей, шт.; $n_{общ}$ – общее количество растений на учетной площадке до прохода машины.

Измерение повреждаемости растений производится в трехкратной повторности на каждой рабочей скорости агрегата.

Коэффициент сопротивления качению МТА определяется при холостом переезде в соответствующих почвенных условиях с измерением крутящих моментов на ведущих органах движителей и подсчитывается по формуле:

$$f = \frac{\sum M_k}{q m_s} \text{ при } \rho_{кр} = 0 \text{ и } V = \text{const},$$

где M_k – момент сопротивления качению, замеренный на ведущих органах движителя, Нм; χ_k – рабочий радиус ведущего колеса или звездочки, м; m_s – эксплуатационная масса агрегата, кг; q – ускорение свободного падения (земного тяготения), м/с².

Крутящий момент на ведущих органах движителей МТА замеряется тензометрическим методом. В тех случаях, когда по каким-либо причинам не

представляется возможным измерение M_k , коэффициент сопротивления перекачиванию можно найти как отношение

$$f = \frac{P_f}{qm},$$

где P_f – сила сопротивления качению агрегата в Н, измеренная тяговым динамометром при его свободной буксировке в соответствующих почвенных условиях.

Коэффициент использования сцепного веса φ_k определяется при рабочем проходе МТА с тяговой нагрузкой в соответствующих почвенных условиях при выполнении технологического процесса с измерением крутящих моментов на ведущих органах движителей и подсчитывается по формуле:

$$\varphi_k = \frac{\sum \frac{M_k}{q_k}}{gm_{cy}} = \frac{P_k}{gm_{cy}},$$

где m_{cy} – сцепная масса агрегата, кг; P_k – касательная сила тяги, Н.

Буксование движителей МТА находится по известной формуле:

$$\delta \left(1 - \frac{n_{kx}^I + n_{kx}^{II}}{n_{kp}^I + n_{kp}^{II}} \cdot \frac{n_{sp}}{n_{sx}} \right) \cdot 100\%,$$

где n_{kx}^I , n_{kx}^{II} , n_{kp}^I , n_{kp}^{II} – число оборотов (отметок) правого и левого ведущих колес (звездочек) соответственно на холостом и рабочем ходу; n_{sx} , n_{sp} – число оборотов (отметок) путеизмерительного колеса соответственно на холостом и рабочем ходу.

Для более точного определения буксования движителей МТА или самоходной машины измерение показателей холостого хода – оборотов (отметок) как ведущих колес (звездочек) n_{kx}^I , n_{kx}^{II} так и путеизмерительного колеса n_{sx} производится при движении испытываемых агрегатов холостым ходом по горизонтальному участку дороги с твердым покрытием.

Кроме перечисленных показателей при испытаниях определяют коэффициент полезного действия движителей и коэффициент запаса тягового усилия по сцеплению K_R .

Коэффициент полезного действия движителей $\eta_{движ}$ для колесных МТА равен произведению коэффициента полезного действия η_f , учитывающего потери на качение агрегата (на деформацию почво-грунта и образование следа), и коэффициента полезного действия η_δ , учитывающего пробуксовку движителя:

$$\eta_{движ} = \eta_f \eta_\delta = \left(1 - \frac{P_f}{P_k} \right) (1 - \delta) = \frac{P_{kp}}{M_k} (1 - \delta),$$

где P_{kp} и P_k – соответственно тяговое усилие и касательная сила тяги МТА.

Для гусеничных МТА с учетом механических потерь в гусеничном движителе коэффициент полезного действия движителей равен

$$\eta_{движ} = \eta_r \eta_f \eta_\delta = \eta_r \left(1 - \frac{P_x}{P_k} \right) (1 - \delta) = \eta_r (1 - \delta) \frac{P_{kp}}{M_k},$$

где η_r – КПД, учитывающий механические потери в гусеничном движителе.

Дополнительно, для более полной оценки тягово-сцепных свойств проходимости МТА, может быть использован коэффициент запаса тягового усилия по сцеплению:

$$K_R = \frac{P_{kmax} - P_t}{gm_s} = \frac{gm_{cy} \varphi - gm_s t}{gm_s} = \varphi \frac{m_{cy}}{m_s} - f = \varphi K_\varphi - f,$$

где P_{max} – максимальное значение касательной силы тяги МТА для данных почвенных условий, Н;

$\varphi = \frac{P_{kmax}}{gm_{cy}}$ – коэффициент сцепления движителей с

почво-грунтом; $K_\varphi = \frac{m_{cy}}{m_s}$ – коэффициент сцепного

веса.

Для МТА, у которых $K_\varphi = 1$, коэффициент запаса тягового усилия по сцеплению $K_R = \varphi - f$.

Коэффициент K_R определяется экспериментально путем измерения максимальных значений крутящих моментов на ведущих органах движителя в условиях эксплуатации МТА. Этот показатель достаточно полно характеризует тягово-сцепное свойство проходимости МТА. Чем больше разница $\varphi K_\varphi - f$, тем большую сумму внешних сопротивлений может преодолеть и, следовательно, тем выше его потенциальные возможности обеспечить передвижение МТА или самоходной машины в данных условиях с одновременным выполнением технологического процесса.

При оценке проходимости отдельных типов сравниваемых машин с одинаковыми движителями и при оценке эффективности применения блокировки межколесного дифференциала кроме указанных оценочных показателей свойств проходимости могут также использоваться дополнительные показатели, такие как среднее P_{cp} и максимальное P_{max} , нормальные давления движителей на почво-грунт и показатель эффективности блокировки дифференциала $\mathcal{E}_{бл}$.

Показатель эффективности блокировки дифференциала:

$$\mathcal{E}_{бл} = \frac{1 - \delta_{бл}}{1 - \delta},$$

где $\delta_{бл}$ – значение буксования движителей МТА при работе с заблокированным дифференциалом; δ – значение буксования движителей МТА при работе

с разблокированным дифференциалом в тех же почвенных условиях.

Обобщенные оценочные показатели проходимости определяются следующим образом:

производительность МТА или самоходной машины за час чистого времени

$$W = 0,36b_p V_p \quad (\text{га/ч}),$$

где b_p – средняя ширина захвата агрегата, м; V_p – рабочая скорость движения агрегата, м/с.

Снижение производительности МТА в эксплуатационных условиях происходит из-за снижения его рабочей скорости при буксовании движителей и снижении оборотов двигателя с повышением энергозатрат на деформацию почво-грунта и образование следа. При сравнительной оценке проходимости однотипных машин с одинаковой шириной захвата снижение производительности определяется в сравнении с максимальным значением производительности любого агрегата, полученной в сопоставимых условиях работы или с теоретической производительностью (при максимальном значении V_p).

Снижение производительности МТА равно

$$\Delta W = \frac{W_{\max} - W}{W_{\max}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{W}{W_{\max}}\right) \cdot 100\%.$$

Методы определения урожайности сельскохозяйственных культур и оценки ее снижения от уплотняющего воздействия движителей на почво-грунт и повреждения ими растений зависят от кратности воздействия ходовых систем МТА при продпосевной обработке почво-грунта, посеве и уходе за растениями. При многократном воздействии движителей на почво-грунт и не одному следу фактическая урожайность Y_f сельскохозяйственных культур определяется не менее чем на 10 произвольно выбранных опытных прямоугольных участках площадью не менее 5 м² и сравнивается с контрольным значением средней урожайности Y , полученным на неуплотненных движителями участках. В этом случае снижение урожайности с.-х. культур подсчитывается по формуле:

$$\Delta Y = \left(1 - \frac{Y_f}{Y}\right) \cdot 100\%.$$

При однократном или многократном по одному и тому же следу воздействию ходовых систем МТА на почво-грунт снижение урожайности с.-х. культур подсчитывается по формуле:

$$\Delta Y = \left(1 - \frac{Y_{ср}}{Y}\right) \frac{e_x}{e} \cdot 100\%,$$

где $Y_{ср}$ – средняя урожайность с.-х. культур по следу МТА, ц/га (кг/м²); e_x – общая ширина следов движителей, м; e – средняя ширина захвата агрегата, м.

Как упоминалось ранее, в тех случаях, когда при испытаниях отдельных машин не представляется возможным доводить результаты испытаний до определения урожайности с.-х. культур, обобщенными показателями вместо снижения урожайности с.-х. культур могут быть прирост плотности почво-грунта $\Delta\rho$ или глубина следа h в зависимости от типа и состояния почво-грунта.

Полученные оценочные показатели опорных, тягово-сцепных и агротехнических свойств проходимости испытываемых сравниваемых МТА или самоходных машин в эксплуатационных условиях сравниваются между собой при одинаковых скоростных и нагрузочных режимах работы и состояния почво-грунта, а также анализируются в зависимости от периода взаимодействия движителей с почво-грунтом.

Лучшими показателями на данном режиме работы обладает агрегат, характеризуемый наименьшими значениями уплотнения и деформации почво-грунта, повреждаемости растений, наибольшим значением КПД движителей.

Заключение

Учитывая остроту проблемы вредного воздействия ходовых систем МТА на почво-грунт, необходимо ввести соответствующие ограничения по критерию минимального воздействия на почво-грунт и повреждения растений в агротехнические требования на разработку вновь проектируемых сельскохозяйственных машин и тракторов, а также внести дополнения в номенклатуру основных параметров таблицы 1 ГОСТ 24096-80. Так как сельскохозяйственная техника работает в самых разнообразных условиях эксплуатации, указанные ограничения необходимо классифицировать в соответствии с назначением машины, возделываемой культуры, принятой классификацией почво-грунтов и с указанием численных значений оценочных показателей. Эти данные должны также приводиться в технической характеристике машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бохан Н.И. Основы метрологии, приборы и измерения в сельском хозяйстве / Н.И. Бохан, В.Б. Ловкис. – Минск, 1995 – 42 с. – (Препринт БГАТУ).
2. Бохан Н.И. Определение режимов работы МТА в эксплуатационных условиях / Тезисы докладов VI Всесоюзного научно-технического совещания. Автоматизация производственных процессов в растениеводстве. – г. Каунас, 1982.
3. Бохан Н.И. и др. Методы и средства оценки проходимости мобильной сельскохозяйственной техники / Материалы МНТК, 1998, г. Минск.