

На основе метода неопределенных коэффициентов Лагранжа установлены выражения для сил и моментов, возникающих при стесненном движении трактора и сельхозорудия. Получены четыре уравнения динамики трактора и сельхозорудия, а также уравнение связи их взаимных продольно-угловых перемещений.

Для решения перечисленных нелинейных уравнений разработано программное обеспечение, реализующее итерационную процедуру расчетов. Для двух значений положительного и отрицательного внешних отклоняющих моментов рассчитаны показатели:

- силового взаимодействия гусеницы с опорной поверхностью в зоне активно-опорных участков;
- продольно-угловые перемещения корпуса трактора и сельхозорудия;
- силового взаимодействия корпуса трактора и сельхозорудия при условии «защемления» тяг навески.

Установлено, что на связанной почве с коэффициентами трения покоя  $f_n=2,0$  и скольжения  $f_{sk}=0,8$  поддрессоренный трактор в агрегате с навесным орудием при буксовании  $\delta=0,05$  преодолевает, если результирующая сила тягового сопротивления орудия отклонена вниз под углом  $\theta=10^\circ$  технологическое сопротивление рабочих органов орудия  $R_x=28,5$  кН плюс силу трения орудия  $P_f=12,23$  кН. При этом под катками на активно-опорных участках формируется суммарная касательная сила тяги  $R_{вк}=43,36$  кН, а сила натяжения рабочей ветви гусеницы  $T_p=60,85$  кН.

Показатели продольно-угловых перемещений:

- дифферент корпуса трактора  $\varphi^0=1,4^\circ$ ,  $\Delta\varphi=1,63^\circ$ ;
- перемещение центра упругости  $Z^0=0,058$  м,  $\Delta Z=0,03$  м;
- дифферент орудия  $\psi^0=0$ ,  $\Delta\psi=0,38^\circ$ ;
- перемещение орудия  $q_{пл}^0=0,025$  м,  $\Delta q_{пл}=0,006$  м.

Показатели силового взаимодействия корпуса трактора и орудия:

- нормальная нагрузка на опорное колесо орудия  $Y_n=31,21$  кН;
- плечо действия силы тяги относительно центра вращения тяг навески  $m=+0,29$  м;
- момент «защемления» тяг навески  $\lambda=1,12$  кНм.

Если результирующая сила тягового сопротивления орудия отклонена вверх под углом  $10^\circ$  (режим, свойственный работе кротодренажной машины), то преодолеваемое технологическое сопротивление рабочих органов сельхозорудия составляет лишь  $R_x=16,79$  кН плюс сила трения орудия  $P_f=10,28$  кН. При этом под катками на активно-опорных участках формируется суммарная касательная сила тяги  $R_{вк}=25,61$  кН, а сила натяжения рабочей ветви гусеницы  $T_p=45,77$  кН.

Показатели продольно-угловых перемещений:

- дифферент корпуса трактора  $\varphi^0=1,41^\circ$ ,  $\Delta\varphi=3,44^\circ$ ;
- перемещение центра упругости  $Z^0=0,058$  м,  $\Delta Z=0,004$  м;
- дифферент орудия  $\psi^0=0$ ,  $\Delta\psi=0,11^\circ$ ;
- перемещение орудия  $q_{пл}^0=0,025$  м,  $\Delta q_{пл}=-0,007$  м.

Показатели силового взаимодействия корпуса трактора и орудия:

- нормальная нагрузка на опорное колесо орудия  $Y_n=18,99$  кН;
- плечо действия силы тяги относительно центра вращения тяг навески  $m=-1,28$  м;
- момент «защемления» тяг навески  $\lambda=-2,88$  кНм.

Таким образом, характер приложения тяговой нагрузки существенно влияет на тяговые показатели трактора.

Названное программное обеспечение внедрено в ОКБ МТЗ и используется для расчета нагрузочных режимов трактора. В процессе опытной эксплуатации программного обеспечения потребуются уточнение некоторых коэффициентов и, возможно, алгоритма с целью учета характеристик почвы, гусеницы, характера нагрузки.

УДК 631.3.072

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАКТОРА С НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ В РАБОЧЕМ И ТРАНСПОРТНОМ ПОЛОЖЕНИЯХ

Горин Г.С., Захаров А.В., УО БГАТУ, г. Минск

В общем случае при установившемся движении МТА мгновенный центр  $O$  вращения тяг навески (ЦВТН) в горизонтальной плоскости проекции не находится на продольной оси трактора и, кроме того, проекция верхней тяги не проходит через этот центр.

В рассматриваемой плоскости проекции на плуг (при отсутствии избыточного давления в гидrocилиндре) действуют следующие силы:

$\bar{R}_c = \bar{R}_1 + \bar{R}_2$  - составляющая проекций на плоскость  $zx$  сил сопротивления рабочих органов плуга, включая силу трения полевых досок о стенку борозды;

$F_2$  - реакция стенки борозды в контакте с полевой доской;

$f_H Y_H$  - сила сопротивления перекачиванию опорного колеса;

$T_{12}^{\alpha}$  - проекция усилия в верхней центральной тяге на плоскость  $zx$ ;

$T_{13}^{\alpha'}$  и  $T_{13}^{\alpha''}$  - проекции усилий в нижних тягах навески на плоскость  $zx$ .

Ограничиваясь условиями равновесия, получим:

$$\left. \begin{aligned} \sum X = 0 & \quad R'_c + f_H Y_H + T_{12}^{\alpha} \cos \chi - T_{13}^{\alpha'} \sin \mu'_r - T_{13}^{\alpha''} \sin \mu''_r = 0; \\ \sum Z = 0 & \quad R''_c - F_H + T_{12}^{\alpha} \sin \chi - T_{13}^{\alpha'} \cos \mu'_r + T_{13}^{\alpha''} \cos \mu''_r = 0 \end{aligned} \right\}$$

где  $\chi$  - угол наклона проекции верхней тяги к продольной плоскости трактора,

$\mu'_r$  и  $\mu''_r$  - углы наклона проекции нижних тяг к продольной плоскости трактора.

Первое уравнение идентично с первым уравнением системы, так как

$$T_{13}^{\alpha'} \sin \mu'_r + T_{13}^{\alpha''} \sin \mu''_r = T_{13}^{\alpha} \cos \mu'.$$

Приравняем проекции усилий в верхней тяге на ось  $x$  в продольно-вертикальной  $xu$  и продольно-горизонтальной  $zx$  плоскостях

$$T_{12}^{\alpha} \cos \chi_r = T_{12}^{\alpha} \cos (\alpha - \alpha_3).$$

Из приведенных выражений видно, что ход плуга по ширине захвата устойчивый, если равнодействующая  $R^{\alpha} = R^{\alpha'} + f_H N'_r + F'_c$  сил, действующих на плуг в горизонтальной плоскости проекции и силы  $T_{12}^{\alpha}$  в верхнем звене, проходит через точку  $O$ , т.е.

$$R^{\alpha} = T_{12}^{\alpha} + \bar{R}^{\alpha}.$$

Если ось верхней тяги в горизонтальной плоскости проекции не проходит через центр  $O$ , для устойчивого хода плуга в горизонтальной плоскости  $zx$  необходимо, чтобы моменты сил  $T_{12}^{\alpha}$  и  $R^{\alpha}$  относительно центра  $O$  уравновешивались, т.е.  $T_{12}^{\alpha} H_2 = R^{\alpha} H_1$ . Для устойчивого хода навесного плуга по ширине захвата (в горизонтальной плоскости) силовым воздействием на трактор проекции  $T_{12}^{\alpha}$  усилия в верхней центральной тяге механизма навески должно уравновешиваться воздействием равнодействующей  $R^{\alpha} = T_{13}^{\alpha} = T_{13}^{\alpha'} + T_{13}^{\alpha''}$  проекции усилий в нижних звеньях мгновенного центра вращения. Вследствие перекаса (движение правыми колесами по дну борозды, открытой предыдущим проходом плуга, по приведенной схеме работают МТА на базе тракторов «Беларус», имеющие центральную навеску) МЦВ навески смещен вправо по ходу движения. Линия тяги равнодействующей силы сопротивления плуга проходит через МЦВ слева от точки симметрии заднего моста  $O_s$ . Если межколесный дифференциал (МКД) не заблокирован, то это приведет к тому, что правые колеса трактора станут вращаться быстрее левых. Ось моста повернется в сторону вспаханного поля. Экспериментально подтверждено, что при таком способе пахоты колеса трактора уводят влево и они «выскакивают» на вспаханную поверхность поля. Если рассмотреть схему сил, действующих на навесной МТА в продольно-горизонтальной плоскости при установившемся движении с плугом, смещенным вправо. По приведенной схеме работают тракторы Т-150К, имеющие регулируемую нецентральную навеску, то линия тяги трактора - равнодействующая сил сопротивления плуга проходит через МЦВ справа от точки симметрии заднего моста  $O_s$ . Если межколесный дифференциал не заблокирован, то это приводит к тому, что левые колеса трактора станут вращаться быстрее, чем правые. Экспериментально подтверждено, что при описанном способе пахоты колеса трактора уводят вправо и они «выскакивают» на вспаханную поверхность. У тракторов «Беларус» для того, чтобы предотвратить стягивание колес влево применяют блокировку межколесного дифференциала. В этом случае стабилизация прямолинейности

курсового движения МТА достигается за счет дополнительных тангенциальных реакций (ДТР)  $R_3^{S6}$  и  $R_4^{S6}$  и боковых  $R_{63}$ ,  $R_{64}$ , возникающих в контактах колес с почвой. У тракторов Т-150К в обоих мостах приме-

нены самоблокирующиеся межколесные дифференциалы повышенного трения, аналогичные межколесным дифференциалам применяемым в переднем мосту тракторов «Белорус». У такого МКД с ростом передаваемого крутящего момента полуосевые шестерни расходятся, прижимая пакет дисков к корпусу МКД. Последний при этом блокируется. Направление ДТР  $R_3^{36}$  и  $R_4^{36}$  противоположное описанному.

УДК 620.190

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

*Антоничин Ю.Т., Абрамчик Н.М., Гвоздев В.Л.,  
УО БГАТУ, Г. Минск*

Трудность сварки чугуна определяется содержанием в нем углерода, серы и фосфора; склонностью к образованию неравновесных фаз при кристаллизации; низкой пластичностью основного металла и зоны оплавления.

Проплавление основного металла в значительном количестве переводит углерод и другие примеси в сварной шов. Переход углерода не опасен, если наплавленный металл представляет собой чугун. В этом случае необходимой мерой для получения доброкачественных соединений является высокий предварительный подогрев изделия (горячая сварка чугуна).

Свариваемые изделия нагревают до высокой температуры, зависящей от конструкции, способа сварки, состава присадочных материалов и ряда других факторов. Всегда желательны сопутствующий подогрев места сварки и медленное охлаждение полученного соединения. Эти меры исключают образование в чугунах неравновесных фаз: цементита и ледебурита.

При сварке чугуна сталью науглероживание шва крайне нежелательно, поскольку оно приводит к образованию метастабильных структур, например, выделению цементита по границам зерен или распаду аустенита при охлаждении шва с мартенситным превращением. Это, в свою очередь, ведет к повышению твердости и резкому снижению пластичности металла шва и образованию трещин в соединениях.

Графитные включения в чугуне снижают его пластичность, в результате чего он может не выдерживать значительных сварочных напряжений. В случае образования неравновесных фаз в зоне сплавления пластичность падает еще больше. В связи с низкой пластичностью чугун боится и резкого изменения напряженного состояния, которое может иметь место при форсированных режимах сварки и последующем ускоренном охлаждении.

При сварке чугуна необходимо обеспечить не только заданный состав наплавленного металла, но и определенную скорость охлаждения, чтобы избежать образования отбела и трещин. Сварка выполняется с нагревом изделия до температуры 500...700 °С, при этом образуется ванна большого объема и создаются благоприятные условия для удаления из жидкого металла газов и неметаллических включений. Последующее охлаждение изделий со скоростью не более 50...100 °С/ч гарантирует отсутствие цементита и мартенсита в структуре соединения.

Нами разработан электрод для сварки чугуна, обеспечивающий в процессе сварки снижение содержания углерода и кремния в металле шва при сохранении механических свойств и обрабатываемости на уровне основного металла.

Идея создания электрода основана на гипотезе удаления углерода из расплавленного металла окислением его в наплавочной ванне. В процессе сварки снижается содержание углерода и кремния при сохранении механических свойств и обрабатываемости на уровне основного металла. Метод успешно применяется при бессемеровском производстве стали: жидкий чугун продувается кислородом, окисляющим избыточный углерод до заданной концентрации. Он прост, доступен, дешев, не усложняет технологический процесс. Вместе с углеродом окисляется и кремний, который в металле шва нежелателен.

Кислород для окисления углерода вводится за счет компонентов электродного покрытия (углекислые соединения, руды и концентраты). Общее содержание кислорода в мраморе, например, составляет 46 %, в гематите – 27 %, в рутиле – 36 %.

Сварку следует производить на прямой полярности, т.к. при этом температура анода сварочной дуги выше температуры катода, что обеспечивает более интенсивный нагрев изделия, чем при обратной по-