

Анализ результатов расчетов, полученных с помощью ЭВМ, показал приемлемость предлагаемой модели. На рис. 3 представлены результаты определения деформаций грунта в области контакта  $\rho_3(\xi)$  в зависимости от угловой координаты  $\xi$ .

С использованием предлагаемых метода расчета и модели системы движитель—почва можно решать ряд практических задач, связанных с различными режимами движения трактора, например с учетом последовательного прохода его колес по одному следу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К а л а ц к и й Л.Н., К о н о н о в А.М. Исследование прочностной характеристики суглинистой почвы как среды, взаимодействующей с двигателем. — Тракторы и с.-х. машины, 1982, № 4, с. 18–20.
2. А г а ф о н о в К.П. О роли вязкости при деформировании грунта. — Тракторы и с.-х. машины, 1982, № 5, с. 11–13.
3. С м и р н о в В.Д. Определение реологических свойств почв. — В кн.: Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной с.-х. техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. Киев, 1982, с. 167–174.
4. Л е в и н М.А., Б о й к о в В.П. Исследование стационарного качения деформируемого колеса по деформируемому основанию. — В кн.: Теоретическая и прикладная механика. Минск, 1984, вып. 11, с. 70–75.

УДК 629.113.2-587

В.В. ВАНЦЕВИЧ, канд.техн.наук,  
А.Х. ЛЕФАРОВ, д-р техн.наук (БПИ),  
Л.М. ЛУКЕРЧИК (МГЗ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ПРИВОДА КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ И МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Расширение сельскохозяйственного производства, введение индустриальных технологий возделывания культур обуславливают необходимость непрерывного повышения технико-экономического уровня тракторной техники. Этому в значительной степени содействует повышение мощности и энергонасыщенности тракторов. Так, мощность тракторов "Беларусь" класса 1,4 возросла с 27,2 до 55,2...58,9 кВт и ее предполагается довести до 73,6 кВт [1]. Одновременно их энергонасыщенность увеличилась с 1,25 до 1,8 кВт/т, т.е. на 44 % [2].

Необходимость увеличения мощности и энергонасыщенности тракторов потребовала поиска путей эффективного их использования прежде всего за счет повышения скорости движения. Была доказана техническая возможность и экономическая целесообразность повышения рабочих скоростей движения тракторов до 2,5...4,17 м/с [3]. Однако с увеличением мощности тракторов темпы роста скорости их движения все же снижаются.

На рис. 1 показаны построенные по данным работы [4] зависимости номинальной мощности  $N_e$ , максимальной  $v_{\max}$ , минимальной  $v_{\min}$  и средней  $v_{\text{mid}}$  расчетных скоростей движения от массы  $m_T$  для двадцати пяти моделей тракторов фирмы "Ford". Тракторы имеют примерно одинаковую энергона-

сыщенность (при коэффициенте корреляции 0,98) :  $N_e/m_T = 19,96$  кВт/т. Средняя скорость (м/с) движения подчиняется степенной зависимости

$$v_{\text{mid}} = 3,032 m_T^{0,321},$$

где  $m_T$  — масса трактора, т.

Темп роста  $v_{\text{mid}}$  снижается с повышением массы и мощности трактора и, начиная примерно с  $N_e = 120$  кВт и  $m_T = 6$  т, средняя скорость движения практически не повышается. При массе трактора 6 т и более прирост скорости мал и составляет в среднем 0,026 м/с на 1 т массы. В то же время прирост мощности на 1 т массы равен 1,996 кВт. Поэтому, например, при увеличении массы трактора с 6 до 8 т его мощность возрастает примерно на 40 кВт, а средняя скорость движения только на 0,5 м/с. Такой характер зависимости  $v_{\text{mid}}$  от  $m_T$  объясняется прежде всего агротехническими требованиями к выполнению сельскохозяйственных работ, ростом сопротивлений почвообрабатывающих орудий при увеличении скорости движения и т.д.

Наиболее радикальный способ реализации мощности тракторов — переход на полноприводные тракторы, имеющие, как показано многочисленными исследованиями, более высокие тягово-сцепные свойства по сравнению с неполноприводными. Поэтому полноприводные тракторы практически получают распространение во всех классах мощности. Из анализа плотностей распределения мощностей 1070 моделей сельскохозяйственных тракторов 38 фирм [10],

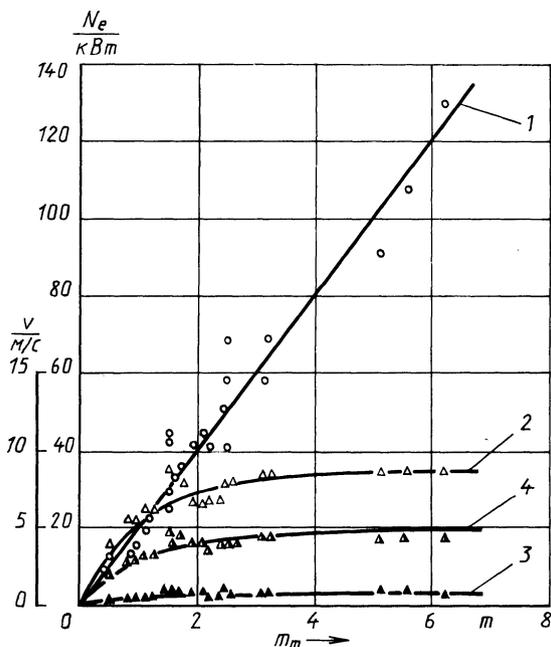


Рис. 1. Зависимости номинальной мощности и скорости движения тракторов от их массы: 1 —  $N_e$ ; 2 —  $v_{\text{max}}$ ; 3 —  $v_{\text{min}}$ ; 4 —  $v_{\text{mid}}$

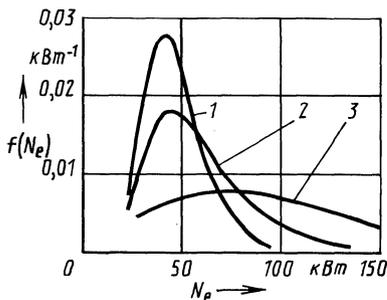


Рис. 2. Плотность распределения мощности тракторов различных фирм:

1 — 4К2; 2 — 4К4 с разными колесами; 3 — 4К4 с одинаковыми колесами

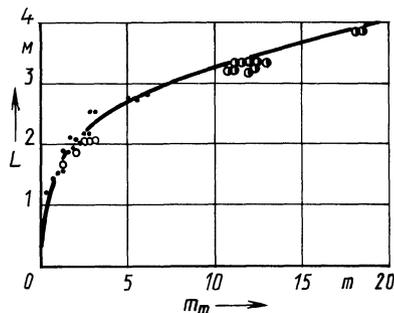


Рис. 3. Изменение базы тракторов в зависимости от их массы

приведенных на рис. 2, видно, что средняя мощность тракторов типа 4К2 составляет 48,1 кВт, а у тракторов типа 4К4 с разными и одинаковыми колесами — соответственно 60,1 и 98,2 кВт. При этом коэффициенты вариации, характеризующие распространение того или иного типа трактора в разных классах мощности, составляют 33,1 % (4К2); 45,3 (4К4 с разными колесами), 48,4 % (4К4 с одинаковыми колесами).

В настоящее время наряду со схемой 4К4 находят применение схемы 6К6 и 8К8. Это позволяет повысить тяговые свойства тракторов, снизить нагрузки на шины и уплотнение почвы. По результатам исследований для тракторов мощностью 220 кВт и эксплуатационной массой 9 т [5] сопротивление качению трактора 6К6 на 17,5 % меньше, чем трактора 4К4, а трактор 8К8 имеет более высокий тяговый КПД по сравнению со схемами 4К4 и 6К6.

Разработаны такие многоосные тракторы, как трехосный "Valmet-1502" [6], экспериментальный трактор "Big Roy" мощностью 442 кВт (схема 8К8) [7], предметный образец Т-104 (схема 8К8) [5].

Возможность применения тракторов с числом ведущих мостов более 3—4 требует глубокого изучения, поскольку ограничивается рядом факторов. Так, анализ 45 моделей тракторов [4] показал, что существует зависимость (рис. 3):

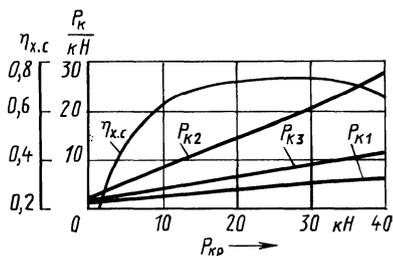
$$L = 1,644 m_T^{0,302} (m_T = 0,193 L^{3,311}),$$

где  $L$  — база трактора, м.

Таким образом, прирост базы трактора с увеличением его массы снижается. Начиная с  $m_T = 10...12$  т прирост  $L$  составляет в среднем 0,008 м на 1 т. Это ведет к резкому возрастанию массы трактора при увеличении числа ведущих мостов и повышению уплотнения почвы при его работе.

В последние годы доказана целесообразность создания на базе мощных тракторов мобильных энергетических средств (МЭС) [8]. МЭС, разрабатываемые на основе как двухосных, так и трехосных схем, способны передавать через ВОМ до 70...80 % мощности на активные органы и колеса технологических модулей. В результате существенно увеличивается степень использования их мощности.

Рис. 4. Оптимальное распределение тяговых сил на мостах МЭС и соответствующий максимальный КПД ходовой системы



Привод ведущих мостов МЭС, составленных из полноприводных тракторов и нескольких параллельно или последовательно соединенных технологических модулей, осуществляется по сложным разветвленным схемам. Они определяют закон распределения тяговых сил  $P_{ki}$  между мостами, а значит и важнейшие эксплуатационные свойства МЭС. В связи с этим ведется разработка схем как механических, так и гидрообъемных, электромеханических и других приводов, позволяющих регулировать тяговые силы на мостах МЭС.

Следовательно, для выбора схемы привода независимо от его конструкции необходимо знать закон оптимального распределения  $P_{ki}$ . Для определения оптимальных  $P_{ki}$  при максимальном использовании тягово-цепных свойств МЭС можно пользоваться алгоритмом, описанным в работе [9].

Рассмотрим пример расчета оптимальных сил тяги на мостах МЭС, составленного из трактора типа 4К4 массой 5,6 т и модуля типа 2К2 массой 1,9 т. Передние колеса трактора снабжены шинами 16-20, задние — 16,9-38, а колеса модуля — шинами 16,9-30. В качестве критерия для оценки тягово-цепных свойств может быть принят КПД буксования [9], или КПД ходовой системы:

$$\eta_{х.с} = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^3 P_{fi}}{\sum_{i=1}^3 P_{ki}} \right) \frac{\sum_{i=1}^3 P_{ki}}{\sum_{i=1}^3 P_{ki} + \sum_{i=1}^3 \frac{P_{ki} \delta_i}{1 - \delta_i}},$$

где  $P_{fi}$  и  $\delta_i$  — сила сопротивления качению и буксование колес  $i$ -го моста.

Результаты расчета максимальных значений  $\eta_{х.с}$  и соответствующих им  $P_{ki}$  при прямолинейном равномерном движении МЭС на поле под посев с различной тяговой нагрузкой приведены на рис. 4.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К с е н е в и ч И.П. Тракторы "Беларусь" — 25 лет производства. — Тракторы и сельхозмашины, 1978, № 9, с. 3–6.
2. В о л к о в Б.Г. Энергонасыщенность как параметр сельскохозяйственного трактора. — Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982, № 6, с. 28–32.
3. Б о л т н с к и й В.Н. Научные основы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. — Тр. Всесоюз. ин-та механизации сельского хозяйства, 1974, 66, с. 5–33.
4. Технические данные колесных тракторов. — Автомобильная промышленность США, 1982, № 1, с. 32–33.
5. Г о н ч а р е н к о С.В., Д о ч к и н В.Г., Ч у х н и н Н.Ф. Теоретическое исследование тягово-цепных свойств колесных тракторов большой мощности. — Тракторы и сельхозмашины, 1980, № 2, с. 3–6.
6. Г у м и л е в с к и й Ю.Н. Трехосный трактор "Valmet-1502". — Тракторы и сельхозмашины, 1978,

№ 2, с. 46–47. 7. Либцис С.Е., Свиркович В.Э., Шаповалов Ю.С. Тенденции развития компоновочных схем сельскохозяйственных тракторов за рубежом. – М., 1983, – 59 с. 8. Ксеневич И.П., Кутьков Г.М. Технологические основы и техническая концепция трактора второго поколения. – Тракторы и сельхозмашины, 1982, № 12, с. 11–14. 9. Ванцевич В.В., Лефоров А.Х. Исследование тяговых свойств трактора типа 6К6. – В кн.: Автотракторостроение, Минск, 1984, вып. 19, с. 73–77. 10. Traktoren daten-preise. – DLZ, 1982, N 10, s. 1351–1426.

УДК 631.372:629.114.2

В.С. ВОЙТЕШОНОК (БПИ)

## ТРАЕКТОРИЯ ПОВОРОТА ТРАКТОРА НА СКЛОНЕ И ЕЕ РЕГИСТРАЦИЯ

В экспериментальных исследованиях поворачиваемости колесных машин важнейшим является регистрация действительной траектории движения. Эта задача значительно усложняется при движении трактора на склоне вследствие непрерывного изменения сил, действующих на колесную машину в процессе поворота. В этом случае траектории поворота [1,2] существенно отличаются от окружности и зависят от крутизны склона  $\theta$ , скорости движения, схемы агрегатирования и других факторов.

Результаты испытаний на склоне стабилизируемого трактора МТЗ-82К 4К4 представлены на рис. 1 и 2. Траектории поворота трактора при постоянном угле поворота управляемых колес представляют собой несколько последовательно смещающихся вниз по склону петель. Причем, если при движении трактора передним ходом наблюдается смещение петель под некоторым углом  $+\psi$  относительно меридиана склона, то при движении задним ходом смещение петель происходит под углом приблизительно  $-\psi$ . В последнем случае размеры  $b_1, b_2, b_3$  заметно увеличиваются. Движение трактора с загруженным полуприцепом ППТС-4 с включенными системами стабилизации сопровождается смещением петель траектории поворота агрегата вверх под углом к меридиану склона.

Используемые в настоящее время методы регистрации траектории движения тракторов основаны на фиксации следов, оставляемых на поверхности почвы колесами трактора или специальными устройствами. Они чрезмерно трудоемки и недостаточно точны. В этой связи интерес представляют методы определения параметров траектории поворота с помощью измерительных колес, которые устанавливаются или параллельно оси заднего ведущего моста [3], или вдоль одного из бортов [4,5]. В последнем случае по результатам показаний приборов можно рассчитать как радиус поворота, так и смещение центра поворота относительно оси задних колес трактора, что является значительным преимуществом этого метода. При этом регистрируют углы поворота осей измерительных колес относительно исходного положения, соответствующего прямолинейному движению трактора [4], или число оборотов измерительных колес [5]. По мнению авторов работы [4], их метод недостаточно точен в силу подпрыгивания измерительных колес и их смещения вследствие инерции.