

# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ И ПРИВЕДЕННОЙ МАССЫ ТРАКТОРА МТЗ-80

## THE RESULTS DETERMINE THE ACCELERATION AND THE MASS OF THE TRACTOR MTZ-80

**А.Г. АРЖЕНОВСКИЙ**, К.Т.Н.  
**С.В. АСАТУРЯН**, К.Т.Н.  
**А.А. ДАГЛДИЯН**  
**Д.С. КОЗЛОВ**  
**Е.Р. ЩУСЬ**

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО  
Донской ГАУ, Зерноград, Россия, argenowski@mail.ru

**A.G. ARZHENOVSKIY**, PhD in Engineering  
**S.V. ASATURYAN**, PhD in Engineering  
**A.A. DAGLDIYAN**  
**D.S. KOZLOV**  
**E.R. SHCHUS**

Azov-BlackSea engineering institute FSBEI HE Don SAU,  
Zernograd, Russian Federation, argenowski@mail.ru

Производительность машинно-тракторных агрегатов зависит от многих факторов и условий производства и, в первую очередь, от энергоёмкости процесса. Главным же показателем энергоёмкости процесса является тяговое сопротивление агрегируемой сельскохозяйственной машины. Отсутствие простого и надежного способа определения этого показателя приводит к разномарочности используемых устройств, изготавливаемых зачастую, своими силами, а это влечет за собой различную достоверность получаемых результатов. Поэтому разработка способов и средств определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин, приемлемых не только для машиноиспытательных станций, но и для конкретных хозяйств, является весьма актуальной задачей и представляет значительный интерес. В данной работе предложен оперативный способ определения тягового сопротивления агрегируемых сельскохозяйственных машин, основанный на анализе параметров переходных режимов разгона машинно-тракторных агрегатов при мгновенном увеличении подачи топлива. Целью работы является разработка и комплектование измерительно-вычислительного комплекса, а также проведение экспериментальных исследований по определению значений ускорения трактора и его приведенной массы на одной из повышенных передач, позволяющих реализовать данный способ определения сопротивления сельскохозяйственных машин. Для реализации оставленной цели был разработан и скомплектован измерительно-вычислительный комплекс для определения динамических показателей машинно-тракторных агрегатов, посредством которого при помощи запатентованных методик на базе станции «Кисляковская» Кушевского района Краснодарского края были проведены экспериментальные исследования по определению значений ускорения трактора МТЗ-80 и его приведенной массы на одной из повышенных передач. Полученные результаты позволяют реализовать предлагаемый способ определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин.

**Ключевые слова:** тяговое сопротивление, сельскохозяйственная машина, трактор, переходный процесс, ускорение, приведенная масса.

The performance of machine-tractor units depends on many factors and production conditions, and primarily on the energy intensity of the process. The main indicator of the energy intensity of the process is the traction resistance of the aggregated agricultural machine. The absence of a simple and reliable method for determining this indicator leads to the heterogeneity of the devices used, often manufactured on their own, and this entails different reliability of the results. Therefore, the development of methods and means of determining the traction resistance of agricultural machines, acceptable not only for testing stations, but also for specific farms, is very relevant and of considerable interest. In this paper, we propose an operational method for determining the traction resistance of mounted agricultural machines, based on the analysis of parameters of transient acceleration modes of machine-tractor units with an instantaneous increase in fuel flow. The aim of the work is to develop and complete the measuring and computing complex, as well as to conduct experimental studies to determine the values of acceleration of the tractor and its reduced weight on one of the increased gears, allowing to implement this method of determining the resistance of agricultural machines. For the realization of left targets was developed and assembled measuring and computing complex determine the dynamic characteristics of machine-tractor units, through which with the aid of patented techniques on the base station «Kislyakovskaya» Kushchevskaya district of Krasnodar region was carried out experimental studies to determine the acceleration values of the tractor MTZ-80 and its given mass in one of the elevated gear. The obtained results allow to implement the proposed method for determining the traction resistance of agricultural machinery.

**Keywords:** traction resistance, agricultural machine, tractor, transition mode, acceleration, reduced mass.

## Ведение

В данной работе исследован оперативный способ определения тягового сопротивления агрегируемых сельскохозяйственных машин, основанный на анализе параметров переходных режимов разгона машинно-тракторных агрегатов (МТА) при мгновенном увеличении подачи топлива, предложенный Н.В. Щетининым [1, 2].

Однако у данного способа, на наш взгляд, имеются ряд существенных недостатков:

- сложность и трудоемкость определения приведенной массы трактора;
- сложность и трудоемкость определения ускорения трактора через угловое ускорение коленчатого вала двигателя из-за буксования ходового аппарата.

Проблема определения приведенной массы трактора решается тем, что выполняется дополнительный разгон трактора, догруженного известной (эталонной) массой, с измерением углового ускорения коленчатого вала при номинальной частоте вращения [3].

Проблемы определения ускорения трактора через угловое ускорение коленчатого вала двигателя с учетом буксования ходового аппарата решаются тем, что к трактору присоединяется путеизмерительное колесо с возможностью фиксации его углового ускорения во время разгона трактора [4].

С учетом вышеизложенного предлагаемый способ определения сопротивления рабочих машин [5] заключается в следующем. При движении трактора без нагрузки за счет снижения подачи топлива достигают частоты вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту. Мгновенно увеличивают подачу топлива до максимальной. При достижении номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя во время разгона трактора измеряется значение углового ускорения путеизмерительного колеса. Аналогично измеряется значение углового ускорения путеизмерительного колеса при разгоне трактора с дополнительной (эталонной) массой и рабочей машиной. Из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с рабочей машиной определяется сопротивление рабочей машины:

$$P_c = M_T \cdot (dV / dt)_{xx} - M_m \cdot (dV / dt)_{раб} - M_{схм} \cdot (dV / dt)_{раб}, \text{ Н}, \quad (1)$$

где  $M_T$ ,  $M_{схм}$  – соответственно, приведенные массы трактора и рабочей машины, кг;  $(dV/dt)_{xx}$ ,  $(dV/dt)_{раб}$  – соответственно, ускорения трактора при разгоне без нагрузки и с рабочей машиной, м/с<sup>2</sup>.

Приведенная масса трактора определяется из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с эталонной массой:

$$M_T = \frac{M_{эт} \cdot ((dV / dt)_{эт} + g \cdot f)}{(dV / dt)_{xx} - (dV / dt)_{эт}}, \text{ кг}, \quad (2)$$

где  $M_{эт}$  – дополнительная (эталонная) масса, кг;  $(dV/dt)_{эт}$  – ускорение трактора при разгоне с эталонной массой, м/с<sup>2</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент перекачивания трактора.

Ускорения трактора при его разгоне без нагрузки, с рабочей машиной и с дополнительной (эталонной) массой связаны с соответствующими угловыми ускорениями путеизмерительного колеса следующими зависимостями:

$$(dV / dt)_{xx} = (d\omega / dt)_{xx} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (3)$$

$$(dV / dt)_{раб} = (d\omega / dt)_{раб} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (4)$$

$$(dV / dt)_{эт} = (d\omega / dt)_{эт} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (5)$$

где  $(d\omega/dt)_{xx}$ ,  $(d\omega/dt)_{раб}$ ,  $(d\omega/dt)_{эт}$  – соответственно, угловые ускорения путеизмерительного колеса при разгоне трактора без нагрузки, с рабочей машиной и с дополнительной (эталонной) массой, рад/с<sup>2</sup>;  $r_{пк}$  – радиус путеизмерительного колеса, м.

Целью работы является разработка и комплектование измерительно-вычислительного комплекса, позволяющего реализовать предлагаемый способ определения сопротивления сельскохозяйственных машин, а также проведение экспериментальных исследований по определению значений ускорения трактора и его приведенной массы на одной из повышенных передач.

## Основные результаты исследования и их обсуждение

Для реализации предлагаемого способа был разработан и скомплектован измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) для определения динамических показателей МТА (рис. 1, 2).

Экспериментальные исследования по определению значений ускорения трактора и его приведенной массы на одной из повышенных

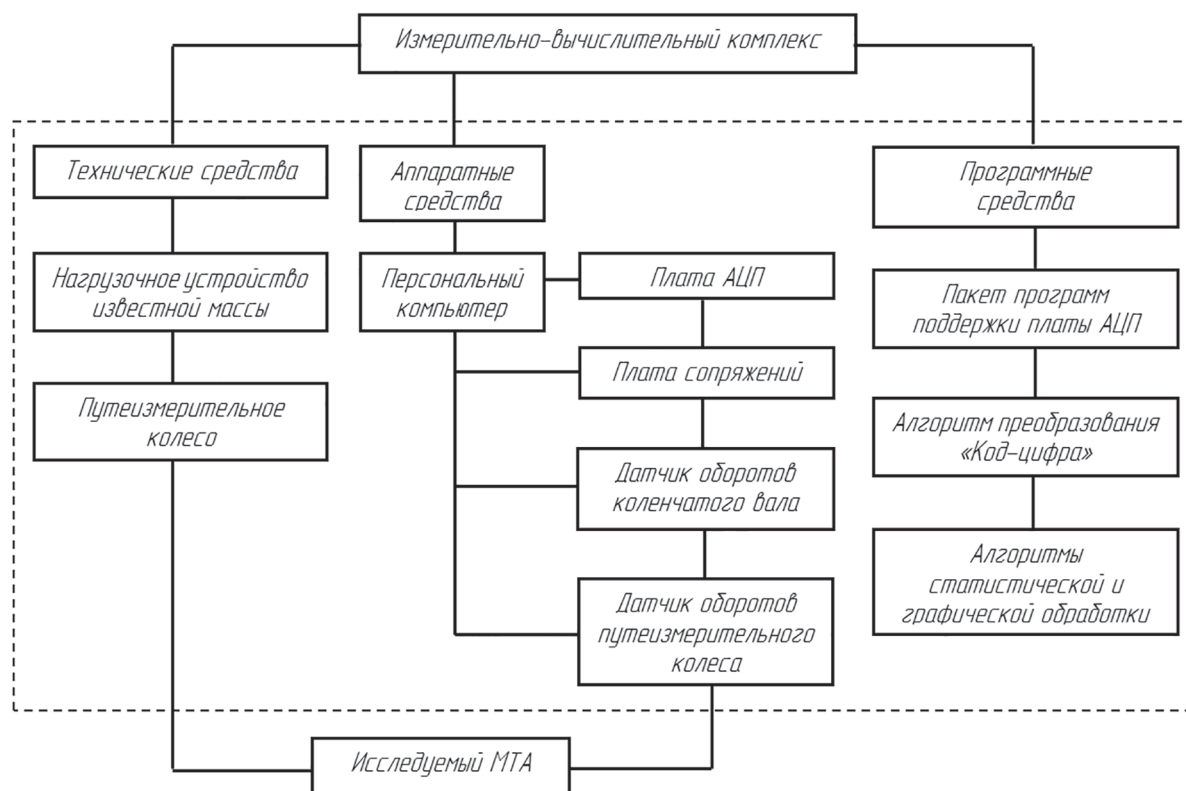


Рис. 1. Схема измерительно-вычислительного комплекса



а



б

Рис. 2. Аппаратные средства измерительно-вычислительного комплекса: а) подготовка к работе; б) процесс записи параметров

передач проводились на базе станции «Кисляковская» Кушевского района Краснодарского края.

В качестве объекта исследования в данной работе выбран трактор МТЗ-80 с двигателем Д-240 ( $n_{\text{ном}} = 2200$  об/мин). В качестве нагрузочного устройства известной (эталонной) массы использовался пług ПЛН-3-35.

Определение значений ускорения трактора и его приведенной массы на одной из повышенных передач предлагаемым измерительно-вычислительным комплексом осуществлялось в четыре этапа.

1. Взвешивание трактора и нагрузочного устройства известной массы.
2. Подготовка трактора и ИВК к работе.
3. Запись закономерностей изменения угловых скоростей и ускорений коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса при разгоне трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой.
4. Обработка полученных данных.

Взвешивание трактора и нагрузочного устройства производилось на весах марки «Невские весы» с максимальной массой взвешивания до 80 тонн и ценой деления 20 кг (рис. 3). Масса трактора с людьми (механизатором и

оператором ИВК) и оборудованием для измерения составила 3400 кг (рис. 3, *а*). Масса трактора с людьми, оборудованием для измерения и плугом ПЛН-3-35 составила 3800 кг (рис. 3, *б*). Таким образом, масса плуга, используемого в качестве нагрузочного устройства известной массы, составила 400 кг.



*а*



*б*

**Рис. 3. Взвешивание трактора МТЗ-80:**

*а*) без нагрузки; *б*) с дополнительной (эталонной) массой

Подготовка МТА и ИВК к работе заключалась в развертывании комплекса, присоединении путеизмерительного колеса и установке индукционных датчиков. Один датчик (датчик оборотов коленчатого вала) устанавливался в специально подготовленное отверстие М16х1,5 в картере маховика напротив зубчатого венца маховика коленчатого вала (рис. 4, *а*), второй (датчик оборотов путеизмерительного колеса) – напротив зубчатого венца шестер-

ни, жестко связанной с путеизмерительным колесом (рис. 4, *б*). Расстояние от датчиков до вершин зубьев 1–3 мм.



*а*



*б*

**Рис. 4. Расположение датчиков оборотов:**

*а*) датчик оборотов коленчатого вала, *б*) датчик оборотов путеизмерительного колеса

Запись закономерностей изменения угловых ускорений коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса при разгоне трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой заключалась в формировании массива данных значений ЭДС, генерируемых катушками датчиков оборотов коленчатого вала и путеизмерительного колеса во время соответствующих разгонов трактора.

Запись массива данных для определения закономерностей изменения угловых ускорений коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса при разгоне трактора проводилась следующим образом. При движении трактора без нагрузки (рис. 5, *а*) за счет снижения подачи топлива достигалась частота враще-



а



б

**Рис. 5. Разгон трактора МТЗ-80:**

а) без нагрузки; б) с дополнительной (эталонной) массой

ния коленчатого вала, соответствующая максимальному крутящему моменту. Мгновенно увеличивалась подача топлива до максимальной. Трактор разгонялся, при этом значения ЭДС датчиков оборотов коленчатого вала и путеизмерительного колеса посредством АЦП фиксировались в памяти компьютера с частотой, равной половине частоты опроса (для двух каналов), на которую предварительно настраивался ИВК. Аналогично фиксировались значения ЭДС датчиков при разгоне трактора с навешенным плугом ПЛН-3-35 (рис. 5, б).

Разгоны трактора осуществлялись на восьмой повышенной передаче по грунтовой дороге. Для получения достоверных результатов записи разгонов трактора осуществлялись с пятикратной повторностью.

В результате были получены файлы с данными значений ЭДС катушек датчиков оборотов в кодовой форме, которые с помощью пакета прикладных программ АЦП были преобразованы в цифровую форму, доступную для обработки.

Обработка полученных данных заключалась в определении закономерностей изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя ( $n_{\text{кв}} = f(t)$ ) и углового ускорения путеизмерительного колеса ( $\varepsilon_{\text{пк}} = f(t)$ ) от времени разгона трактора.

Для автоматизации процесса обработки данных использовалась программа обработки данных в среде Turbo-Pascal [6]. Исходными данными для программы являлись файлы со значениями ЭДС датчиков в цифровой форме. После обработки данных программа выдала

значения, по которым были получены зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя и углового ускорения путеизмерительного колеса от времени разгона трактора.

На рис. 6 представлены зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя от времени разгона трактора без нагрузки.

На рис. 7 представлены зависимости углового ускорения путеизмерительного колеса от времени разгона трактора без нагрузки.

Совмещая результирующие графиков зависимостей  $n_{\text{кв}} = f(t)$  и  $\varepsilon_{\text{пк}} = f(t)$ , были определены значения угловых ускорений путеизмерительного колеса, соответствующие номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя при разгоне трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой.

На рис. 8 представлен алгоритм определения углового ускорения путеизмерительного колеса, соответствующего номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя при разгоне трактора без нагрузки.

Согласно рис. 8, значение углового ускорения путеизмерительного колеса, соответствующего номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя при разгоне трактора МТЗ-80 без нагрузки  $(d\omega/dt)_{\text{xx}} = 6,2 \text{ рад/с}^2$ .

Аналогично определили значение углового ускорения путеизмерительного колеса, соответствующего номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя при разгоне трактора МТЗ-80 с дополнительной (эталонной) массой  $(d\omega/dt)_{\text{эт}} = 5,8 \text{ рад/с}^2$ .

С учетом радиуса путеизмерительного колеса ( $r_{\text{пк}} = 0,4 \text{ м}$ ) по формулам (3) и (5) опре-

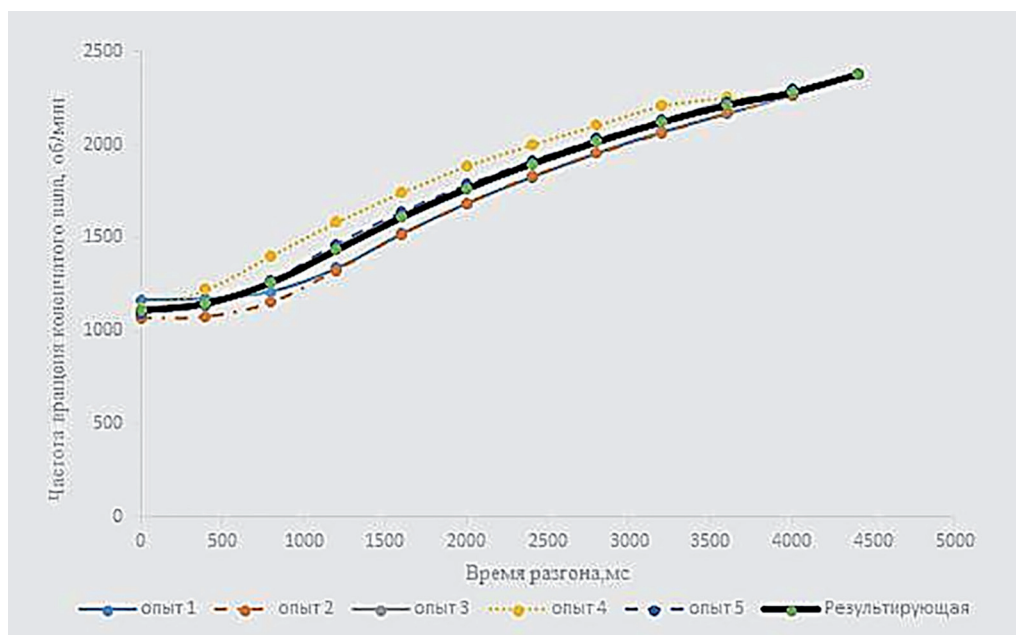


Рис. 6. Зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя от времени разгона трактора МТЗ-80 без нагрузки

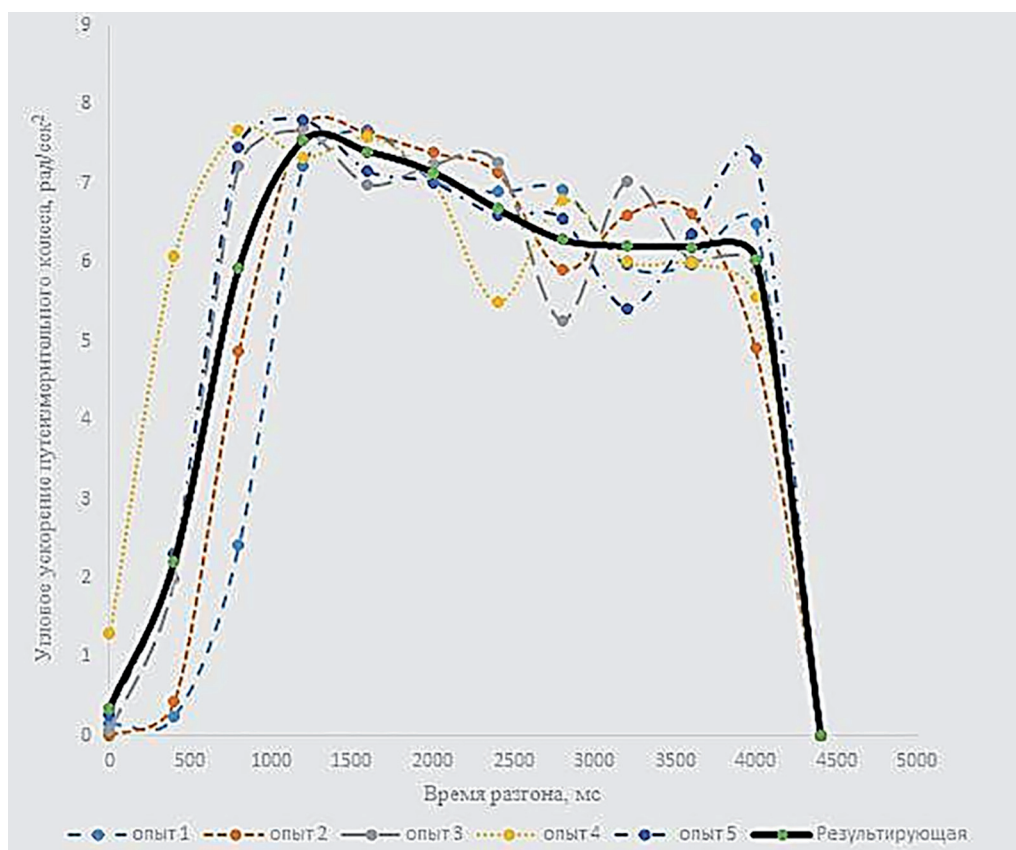
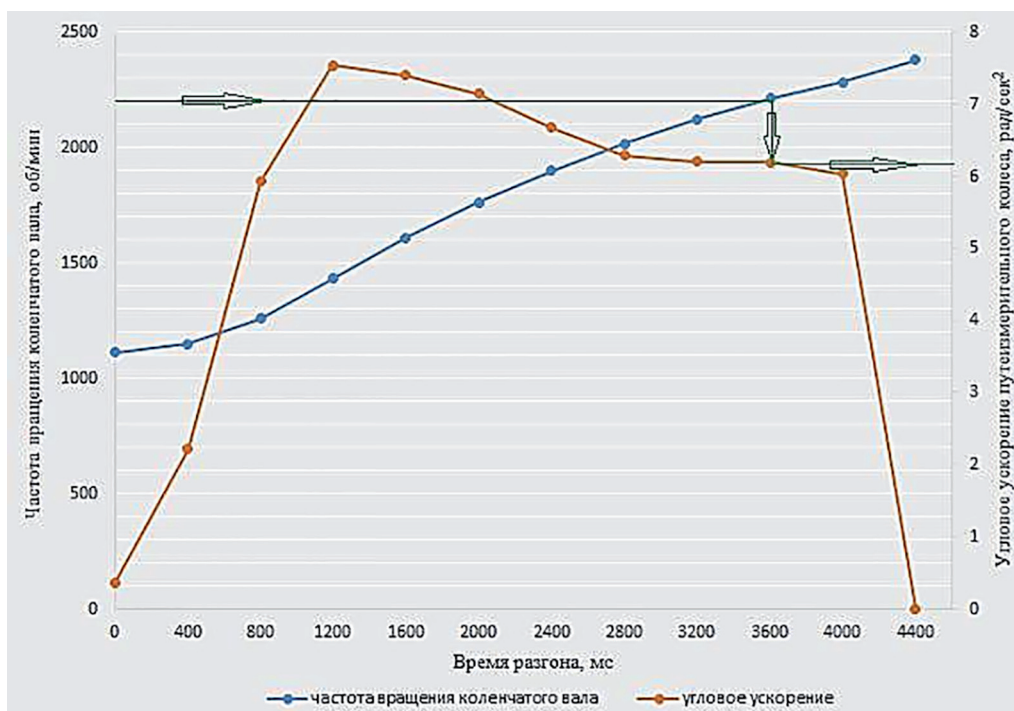


Рис. 7. Зависимости углового ускорения путеизмерительного колеса от времени разгона трактора МТЗ-80 без нагрузки



**Рис. 8.** Алгоритм определения углового ускорения путеизмерительного колеса, соответствующего номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя при разгоне трактора МТЗ-80 без нагрузки

делили значения ускорений трактора МТЗ-80 при соответствующих разгонах:

$$(dV / dt)_{xx} = 6,2 \cdot 0,4 = 2,48 \text{ м/с}^2;$$

$$(dV / dt)_{эт} = 5,8 \cdot 0,4 = 2,32 \text{ м/с}^2.$$

Затем по формуле (2) с учетом массы навешенного плуга ПЛН-3-35 ( $M_{эт} = 400 \text{ кг}$ ) и коэффициента перекачивания колесного трактора по грунтовой дороге ( $f = 0,07$ ) определили приведенную массу трактора МТЗ-80 на восьмой повышенной передаче:

$$M_T = \frac{400 \cdot 2,32 + 9,8 \cdot 0,07}{2,48 - 2,32} = 5804 \text{ кг}.$$

### Заключение

Разработанный и скомплектованный измерительно-вычислительный комплекс для определения динамических показателей МТА и полученные результаты по определению значений ускорения трактора и его приведенной массы позволяют реализовать предлагаемый способ в условиях эксплуатации, что ведет к снижению трудоемкости определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин.

### Литература

1. Щетинин Н.В. Способ измерения сопротивления рабочих машин: патент на изобретение

№ 2115902, Российская Федерация. Опубликовано 20.07.1998. Бюл. № 20.

2. Щетинин Н.В. Способ измерения сопротивления рабочих машин: патент на изобретение № 2178157, Российская Федерация. Опубликовано 20.07.1998. Бюл. № 1.

3. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичилов И.И., Черемисин Ю.М., Дагддян А.А., Должиков В.В. Способ определения сопротивления рабочих машин: патент на изобретение № 2612950, Российская Федерация. Опубликовано 14.03.2017. Бюл. № 8.

4. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичилов И.И., Черемисин Ю.М., Дагддян А.А., Должиков В.В. Способ определения сопротивления рабочих машин: патент на изобретение № 2620983, Российская Федерация. Опубликовано 30.05.2017. Бюл. № 16.

5. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Дагддян А.А., Козлов Д.С., Щусь Е.Р. Совершенствование методики определения сопротивления рабочих машин // Вестник аграрной науки Дона. 2017. Вып. 38. С. 47–51.

6. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичилов И.И. Программа для определения энергетических показателей дизельных двигателей на переходных режимах: программа для ЭВМ № 2009615659, Российская Федерация. Опубликовано 2009.

## References

1. SHCHetinin N.V. Sposob izmereniya soprotivleniya rabochih mashin [The method of measurement of the draft of the working machines]: patent na izobrenie No 2115902, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 20.07.1998. Byul. No 20. (In Russian).
2. SHCHetinin N.V. Sposob izmereniya soprotivleniya rabochih mashin [The method of measurement of the draft of the working machines]: patent na izobrenie No 2178157, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 20.07.1998. Byul. No 1. (In Russian).
3. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., CHichilanov I.I., CHeremisin YU.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. Sposob opredeleniya soprotivleniya rabochih mashin [The method of determination of the working machines resistance]: patent na izobrenie No 2612950, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 14.03.2017. Byul. No 8. (In Russian).
4. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., CHichilanov I.I., CHeremisin YU.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. Sposob opredeleniya soprotivleniya rabochih mashin [The method of determination of the working machines resistance]: patent na izobrenie No 2620983, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 30.05.2017. Byul. No 16. (In Russian).
5. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., Dagldiyan A.A., Kozlov D.S., SHCHus' E.R. Sovershenstvovanie metodiki opredeleniya soprotivleniya rabochih mashin [Improvement of the methodology for determining of the draft of the working machines], Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2017. Vyp. 38. pp. 47–51. (In Russian).
6. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., CHichilanov I.I. Programma dlya opredeleniya ehnergeticheskikh pokazatelej dizel'nyh dvigatelej na perekhodnyh rezhimakh [The program for determination of the energy parameters of diesel engines on the transition mode]: programma dlya EHVM No 2009615659, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 2009. (In Russian).