

18. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
19. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В. Я. Ротач. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 396 с., ил.
20. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. М., изд. Дизайн ПРО, - 2000.
21. Жученко О.А. Нечітка система керування режимом пуску процесу екструзії полімерів. // Інтегровані технології та енергозбереження №1,- 2013. с. 96-100
22. K.M. Zhou, J.C. Doyle, and K. Glover. Robust and optimal control. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, - 1989.
23. T. Soderstrom, P. Stoica. System identification. – New York: Prentice-Hall, - 1989.
24. L. Ljung. System Identification: Theory for the user, 2<sup>nd</sup> ed. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, - 1989.

**Ludmila Jaroshuk, Aleksey Zhuchenko**

*National technical university of Ukraine “Kyiv Polytechnic institute”*

**Control system of heating mode polymer extrusion process**

The control scheme based on internal model control (IMC) structure has been proposed for heating-up, which is capable of no overheating (i.e., temperature overshoot) for heating-up. Analytical controller-design formulas and quantitative tuning guidelines have been given for implementation of the desirable heating-up response together with robust tuning constraints to accommodate for process uncertainties.

For temperature-control design an identification method based on the step response has been used for obtaining the heating-up model. The proposed control system was compared to the well-known Ziegler-Nichols PID tuning method based on the integrating first-order-plus-dead-time model and Skogestad IMC-based PID tuning method, using the proposed integrating second-order-plus-dead-time model.

This comparison has well demonstrated the effectiveness of the developed identification method and control scheme for the application to the barrel-temperature control of polymers extrusion process.

**extruder, polymer, heating-up, control system**

Одержано 25.04.13

**УДК 62-565: 62-585.18**

**Dr. inż. Zbigniew Kiernicki, Paweł Semczuk, Andrzej Nowak**

*Государственное высшее профессиональное училище в Замостье, Польша*

## Измерительные приспособления для определения момента инерции двигателя сельскохозяйственных тракторов

В статье представлены устройства, предназначенные для проверки момента инерции двигателя при тройном ускорении с помощью дополнительного веса. Методология измерения предполагает, что для данной скорости и теплового состояния двигателя момент, который развивается, сравнительно эффективный. Полученная масса момента инерции рассматривается как достаточная для эффективного вращения коленчатого вала.

**массовый момент инерции, сельскохозяйственный трактор, дизельный двигатель, ускорение**

**З. Керницькі, П. Семчук, А. Новак**

*Державне вище професійне училище в Замості, Польща*

**Вимірювальні прилади для визначення моменту інерції двигуна сільськогосподарських тракторів**

У статті представлені пристрої, які призначені для перевірки моменту інерції двигуна при потрібному прискоренні за допомогою додаткової ваги. Методологія вимірювання передбачає, що для даної швидкості і теплового стану двигуна момент, який розвивається, порівняно ефективний. Отримана маса моменту інерції розглядається як достатня для ефективного обертання колінчастого валу.

#### **масовий момент інерції, сільськогосподарський трактор, дизельний двигун, прискорення**

**Введение.** Определение параметров работы двигателя внутреннего сгорания требует определения переменного момента инерции движущихся частей двигателя относительно оси коленчатого вала. Экспериментальное определение момента инерции двигателя позволяет обеспечить необходимую механическую прочность, решить вопросы регулирования и управления двигателем, а также моделирования работы двигателя в условиях эксплуатации.

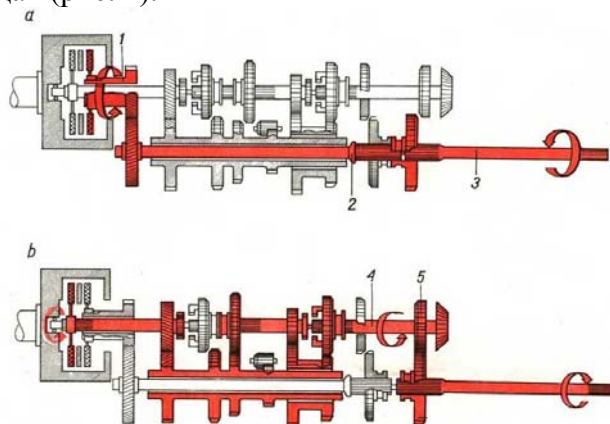
Среди многих известных способов определения момента инерции, самым популярным является экспериментальный метод, который основан на измерении и определении момента инерции на основе закона Ньютона. В случае, когда двигатель транспортного средства построен с учетом необходимой производительности – это не является проблемой. Однако же, когда двигатель установлен в автомобиле, есть проблемы с практическим проведением эксперимента. Причина в том, что доступ к коленчатому валу двигателя, для подключения дополнительной вращательной массы, затруднен.

У некоторых транспортных средств, таких как тракторы и грузовики, существует возможность приложить дополнительный вес с помощью вала отбора мощности (ВОМ) или приставки для отбора мощности. Это дает возможность индивидуально измерить массовый момент инерции двигателя в данной конфигурации и позволяет провести более точные измерения и диагностику.

#### **Анализ устройства ВОМ сельскохозяйственных тракторов.**

В случае доступа к двигателю с помощью ВОМ между маховиком и концевиком, к которому можно подключить дополнительную массу с известным значением, применяется схема исследования с известным массовым моментом инерции. Значение этого момента инерции следует рассматривать как сумму моментов инерции элементов трансмиссии, которая возникает при передаче и их сопротивлении. Эти сопротивления вызваны, в основном, гидравлическим сопротивлением при вращении деталей в масляной ванне и потерями в подшипниках.

Системы привода сельскохозяйственных тракторов гораздо сложнее. Даже в простейшем тракторе, например Ursus C-330, вращение ВОМ связано с движением ряда шестерен в коробке передач (рис. 1).



а – независимый привод; б – зависимый привод;  
1 – шестерня привода ВОМ; 2 – вал независимой передачи; 3 – вал отбора мощности;  
4 – первичный вал; 5 – контур зависимого привода ВОМ  
Рисунок 1 – Схема привода ВОМ трактора Ursus C-330 [7]

На рисунку 2 представлена система привода современного трактора с ведомым соединением ВОМ (трактор Claas). В то время как соединение ВОМ с валом двигателя является относительно простым, однако при вращении ВОМ также вращаются ряд шестерен в коробке передач и элементы сцепления. Это связано, например, с необходимостью смазки механизмов.

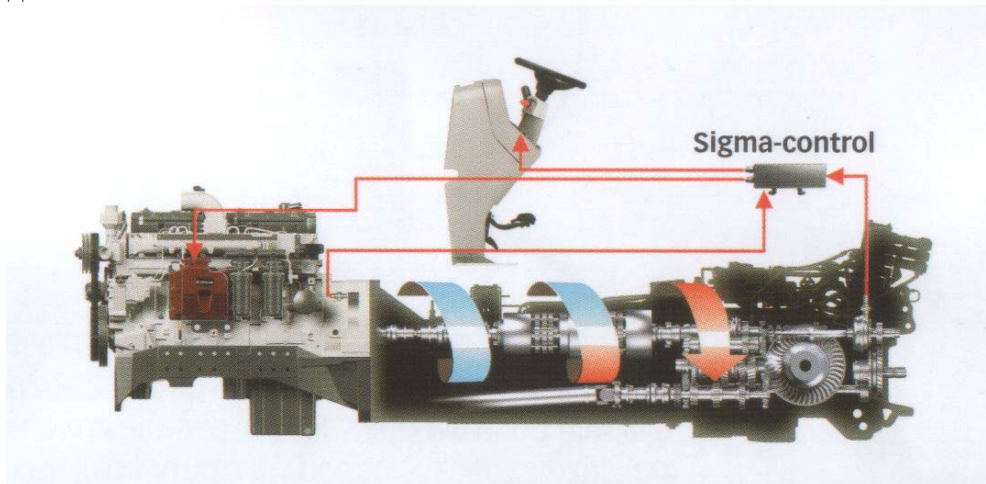


Рисунок 2 – Схема системы привода современного трактора Claas [10]

Еще одной проблемой является возможность быстрого и устойчивого установления оборудования для нагружения ВОМ трактора. Естественным местом монтажа, казалось бы, должен быть механизм навески трактора, но существуют различные решения для различных моделей тракторов. Примеры решений показаны на рисунках 3 и 4.

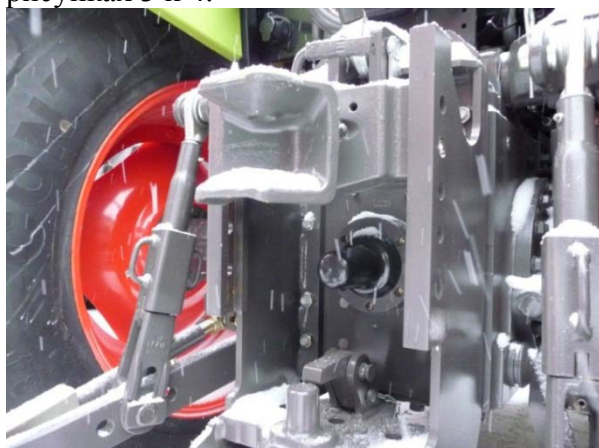


Рисунок 3 – Внешний вид места установки и механизма навешивания трактора Claas модели AXOS [8]



Рисунок 4 – Внешний вид места установки в тракторе Ursus C-4011 и C-360 [9]

**Методы исследования.** Для того чтобы оперативно определить момент инерции двигателя, установленного на сельскохозяйственный трактор, может использоваться экспериментальный метод тройного ускорения. Он основан на измерениях скорости вращения коленчатого вала двигателя, выполненных во время следующих условий:

- 1 – разгона двигателя с выключенным сцеплением;
- 2 – разгона двигателя с включенным ВОМ;
- 3 – разгона двигателя с включенным ВОМ и нагрузкой дополнительным весом с известным значением массового момента инерции.

Как следует из [2], величина дополнительного момента инерции должна удовлетворять условиям:

$$\frac{J_x}{J_d} = 1 \div 1,5. \quad (1)$$

Тогда, считая одинаковыми условия сгорания в двигателе при  $\omega = \text{idem}$ , система уравнений будет иметь вид:

$$J_x \cdot \varepsilon_1 = T_e, \quad (2)$$

$$(J_x + J_w) \cdot \varepsilon_2 = T_e, \quad (3)$$

$$(J_x + J_w + J_d) \cdot \varepsilon_3 = T_e, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_1$  – угловое ускорение при разгоне с выключенным главным сцеплением;  
 $\varepsilon_2$  – угловое ускорение при разгоне с включенным ВОМ;  
 $\varepsilon_3$  – угловое ускорение с включенным ВОМ и нагрузкой дополнительным весом с известным массовым моментом инерции

$T_e$  – эффективный момент двигателя;

$J_x$  – искомый массовый момент инерции двигателя;

$J_d$  – дополнительный массовый момент инерции;

$J_w$  – массовый момент инерции элементов в системе привода ВОМ.

Измерив угловое ускорение коленчатого вала, можно определить момент инерции двигателя:

$$(J_x + J_w) \cdot \varepsilon_2 = (J_x + J_w + J_d) \cdot \varepsilon_3, \quad (5)$$

$$(J_x + J_w) \cdot \varepsilon_2 = (J_x + J_w) \cdot \varepsilon_3 + J_d \cdot \varepsilon_3, \quad (6)$$

$$(J_x + J_w) \cdot (\varepsilon_2 - \varepsilon_3) = J_d \cdot \varepsilon_3, \quad (7)$$

$$J_x + J_w = J_d \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}, \quad (8)$$

$$J_x \cdot \varepsilon_1 = (J_x + J_w) \cdot \varepsilon_2, \quad (9)$$

$$J_x \cdot \varepsilon_1 = J_d \frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_3} \cdot \varepsilon_2, \quad (10)$$

$$J_x = J_d \frac{\varepsilon_3 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 \cdot (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}. \quad (11)$$

Зная зависимость изменения углового ускорения от скорости  $\varepsilon = f(n)$ , можно определить значение момента инерции в зависимости от скорости  $J_x = f(n)$ .

**Устройство для измерения момента инерции.** В оборудовании для исследований использовалась втулка с дополнительной массой и известным значением массового момента инерции  $J_d = 0,12 \text{ кг/м}^2$ . При проектировании оборудования учитывались место установки, а также быстрота, универсальность и обеспечение достаточной надежности соединения устройства. В случае с семейством тракторов

фирмы Claas было решено подключить оборудование к креплению механизма навески. Следующим шагом было создание модели в пакете прикладных программ Solid Edge (рис. 5). Таким образом, была создана 3D модель, в которой имитировались размеры различных компонентов устройства.

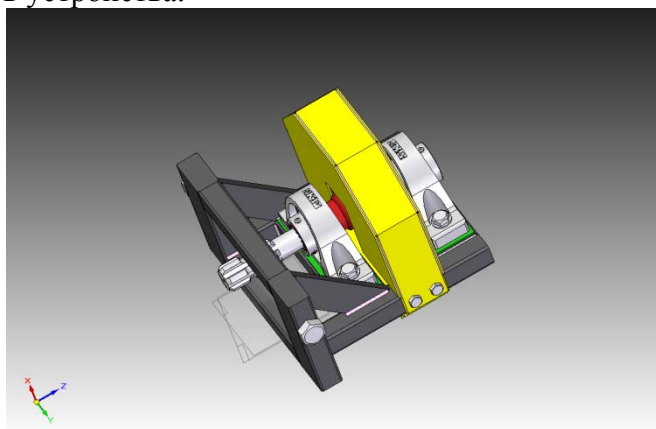


Рисунок 5 – Вид модели приставки [8]

Несущая конструкция устройства должна отвечать условиям прочности и стабильности работы, для того, чтобы измерение было точным и адекватным. Из-за большой массы (11,9 кг) оборудования, крепление должно обеспечивать возможность удержания веса во время работы. На рисунке 6 показан измерительный адаптер, установленный на тракторе марки Claas, модель AXOS.



Рисунок 6 – Общий вид установленной приставки [8]

Приставка сконструирована таким образом, что можно отсоединить привод от ВОМ без необходимости его демонтажа с механизма навески. Установка и снятие привода оборудования производится с помощью скользящей муфты, которая соединяет ВОМ и вал оборудования.

Устройство было спроектировано и построено для трактора Claas модели AXOS и других, которые имеют механизм навески с поперечным расстоянием 314 мм. При установке устройства необходимо соблюдать осторожность, поскольку масса оборудования составляет более 20 кг.

Оборудование было протестировано на тракторах фирмы Claas модели AXOS. Испытания показали позитивный результат. При увеличении частоты оборотов оборудование работало стабильно и при этом не наблюдалось вибраций. Приставка была испытана при 540 и 1000 об/мин. ВОМ, а обороты двигателя при этом достигали максимального значения 2200 об/мин. [8].

В случае с тракторами модельного ряда Ursus использовалось такое же массовое кольцо, тем не менее, была изменена опорная конструкция из-за различий монтажа

системы навески. Трехмерная модель спроектирована в пакете прикладных программ Solid Edge и представлена на рисунке 7.

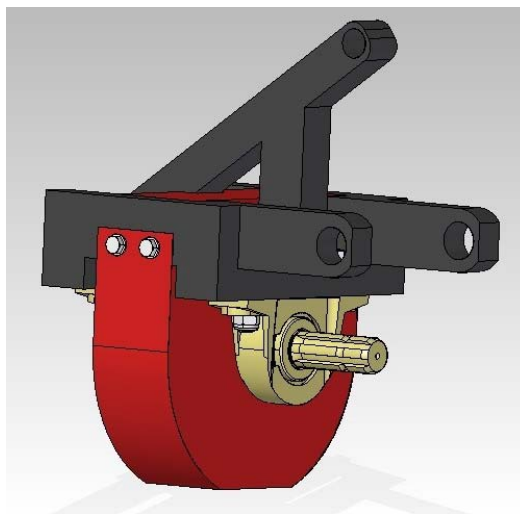


Рисунок 7 – Общий вид 3D модели нагружения ВМ [9]

На рис. 8 показан прибор для измерения, который приспособлен к трактору Ursus С-360. Стрелками показаны болты, крепящие приспособление к механизму навески трактора. Включение приспособления происходит при перемещении ролика муфты подключения прибора к ВМ. Масса устройства составляет 28 кг.

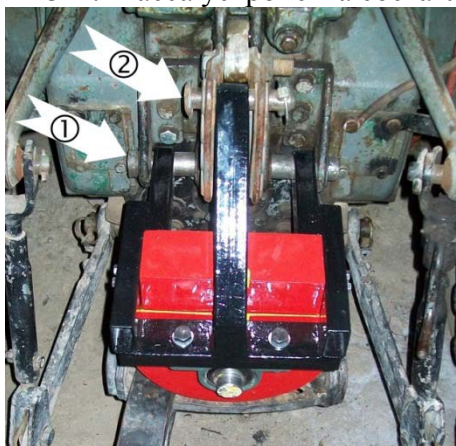


Рисунок 8 – Вид устройства, смонтированного на трактор Ursus [9]

Оборудование было опробовано для сельскохозяйственного трактора Ursus С-4011, который является прототипом трактора Ursus С-360. Система работала стабильно и надежно, и при этом не наблюдалось никаких опасных вибраций [9].

**Выводы.** Работоспособность конструкции оборудования для определения массового момента инерции движущихся деталей двигателя была подтверждена. В этой связи возникает возможность исследования массового момента инерции двигателя в любой конфигурации, что значительно расширит использование предложенных методов для оценки технического состояния двигателя и точности его регулирования. Выявлена необходимость использования дополнительного массового нагружения ВМ, что ранее ограничивало использование этого метода для сельскохозяйственных тракторов и автомобилей, оснащенных ВМ. Целью дальнейшей работы будет проверка методологии измерения на основе метода циклического разгона-торможения

двигателя для исследования массового момента инерции движущихся деталей двигателя.

## Список литературы

1. Cichy M. Pomiar momentu bezwładności i oporów mechanicznych metodą wybiegu. / M. Cichy // Technika Motoryzacyjna. – nr. 1 (200). – 1969.
2. Kiernicki Z. The Accuracy of Engine Crankshaft's Speed and Acceleration Measurements in the Inertial Method of Engine Testing / Z. Kiernicki // TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, Vol. II. – Lublin 2002. – str. 65-71.
3. Kiernicki Z. Określanie masowego momentu bezwładności silnika spalinowego za pomocą cyklu rozpedzanie-wybieg / Z. Kiernicki // Czasopismo Techniczne, Z. 5. – M/1998. – str. 53-60.
4. Kiernicki Z. Determination of mass moment of inertia of engine built-in farm tractor / Z. Kiernicki, T. Zarzycki // Naukowy Wiśnik Nacjonalnego Uniwersytetu Bioresursiw i Prirodokoristwowania Ukrainy. – Wyp. 166. – Część 2. – Seria „Technika i energetyka APK”. – Kijów 2011. – str 62-67.
5. Larisch J. Wyznaczanie momentu bezwładności silnika na stanowisku dynamometrycznym metodą wybiegu / J. Larisch, T. Praszkiwicz // Mater. konf. KONES'97. – Bielsko-Biała 16-19 września 1997.
6. Łukaczew P. Metoda podwójnego wybiegu określania momentu bezwładności ruchomych mas silników spalinowych / P. Łukaczew, W. Stukano // Awtomobilnaja Promyszlenost. – nr 10/1966.
7. Mazur J. Poradnik traktorzysty / J. Mazur // Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. – Warszawa. – 1980.
8. Nowak A. Projekt i wykonanie przystawki do WOM ciągnika / A. Nowak // Praca dyplomowa. – PWSZ w Zamościu. – 2012.
9. Semczuk P. Projekt i wykonanie układu obciążającego WOM ciągników rolniczych typu Ursus C-360 / P. Semczuk // Praca dyplomowa. – PWSZ w Zamościu. – 2013.
10. Каталог продукции фирмы Claas. – Режим доступа: [www.claas.pl](http://www.claas.pl).

**Zbigniew Kiernicki, Paul Semczuk, Andrzej Nowak**

*The State Higher School of Vocational Education in Zamosc, Poland*

### **Measurement adapter for determining of mass inertia moment of farm tractor engine**

The purpose study was to determination of the mass inertia moment of the engine of agricultural tractors.

To this end, the proposed equipment in which the principle of triple inertial mass and acceleration using additional load tractor PTO. Testing adaptation was carried at the company Claas tractors and Ursus.

The measurement methodology assumes that effective torque is comparable at given speed and thermal state of the motor. Resulting mass moment of inertia is treated as an average one for the full rotation of the crankshaft. In this connection there possibility of investigating the mass inertia moment the engine in any configuration that will greatly expand the use of the proposed methods for the assessment of the technical condition engine and the precision of its regulation.

Одержано 28.10.13