биоразлагаемых технических моющих средств («Мотолюкс», «Автолик», «Умос» и др.). Применение комбинированного гидродинамического метода очистки в режиме оборотного водоснабжения обеспечивает повышение производительности труда, снижение расхода воды, электроэнергии, расхода моющих средств и металлоемкости более чем в 3 раза, быстрый выход на оптимальный режим работы с соблюдением жестких нормативных технических, санитарных и экологических требований.

Литература

1. Беднарский, В. В. Организация капитального ремонта автомобилей: учебное пособие / В. В. Беднарский. – Ростов Н/Д: Феникс, 2005 – 592 с.
2. Усков, В. П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей / В. П. Усков. – Брянск: Клинцовская типография, 1998. – 589 с.
3. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / В. И. Черноиванов [и др.]; под ред. В. И. Черноиванова. – Москва-Челябинск: ГОСНИТИ, 2003 – 992 с.
4. Технология ремонта машин / Е. А. Пучин [и др.]; под ред. Е. А. Пучина. – М.: Колос, 2007. – 488 с.
5. Хрулев, А. Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей: производственно-практическое издание / А. Э. Хрулев. – М.: Изд-во «За рулем», 1998.– 440 с.
6. Холдеман, Д. Д. Автомобильные двигатели. Теория и техническое обслуживание / Д. Д. Холдеман, Ч. Д. Митчел. – 4-е изд. – М.; СПб; Киев, 2006 – 645 с.

УДК 631.171:65.011.56(075.8)

Поступила в редакцию 17.04.2017
Received 17.04.2017

С. Г. Пархоменко[1], Г. Г. Пархоменко[2]

[1]Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета
[2]СКНИИМЭСХ ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»
г. Зерноград, Российская Федерация
[1]e-mail: s-parkhom@mail.ru
[2]e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ДВИГАТЕЛЯ Д-240

В статье приведены основы моделирования технологических процессов по информационным параметрам. Представлена математическая модель дизельного двигателя с всережимным регулятором. Приведены методика моделирования в программном комплексе «МВТУ» и результаты расчетов работы двигателя Д-240.

Ключевые слова: информационные параметры, дизельный двигатель, всережимный регулятор частоты вращения, моделирование.

S. G. Parkhomenko[1], G. G. Parkhomenko[2]

[1]Azov-Black Sea Engineering Institute Don State Agrarian University
[2]NCRIMEA FSBSI «The agrarian scientific centre «Donskoy»
g. Zernograd, Russia
[1]e-mail: s-parkhom@mail.ru;
[2]e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BASED ON INFORMATION PARAMETERS USING THE EXAMPLE OF CALCULATING THE D-240 ENGINE

The article presents the basics of modeling of technological processes based on information parameters. The mathematical model of the diesel engine with the all-speed governor is presented. The modeling technique is given in the software package MBTY and results of calculations of operation of the engine D-240.

Keywords: information parameters, diesel engine, all-speed governor, modeling.

Введение

В сельскохозяйственном производстве основные технологические процессы выполняются рабочими органами машини агрегатов соответствующего назначения [1, 2]. В совокупности информационных параметров, характеризующих процесс, сельскохозяйственная машина или агрегат отражаются осуществлением ряда действий по подготовке и выполнению технологических операций в соответствии с режимомих функционирования. Выделяют следующие режимы функционирования сельскохозяйственных машин и агрегатов [1]:

– *установочный*, объединяющий фазы подготовки обрабатываемой среды и установки рабочих органов машины для обеспечения требуемых показателей технологического процесса;

– *рабочий*, при котором осуществляется непосредственное воздействие сельскохозяйственной машины на обрабатываемую среду;

– *биологический*, связанный с характерными особенностями сельскохозяйственного производства и обрабатываемой среды, заключающийся в созревании зерна и пр.;

– *транспортный*, обусловленный необходимостью перемещения по полю сельскохозяйственных машин для осуществления заданного технологического процесса, а также перевозки зерна, семян, удобрений и пр.;

– *обслуживания*, предполагающий техническое обслуживание и ремонт машин и рабочих органов.

Для осуществления заданного технологического процесса при вышеперечисленных режимах функционирования сельскохозяйственных машин используются мобильные энергетические средства, соответствие скорости с нагрузкой в двигателях внутреннего сгорания которых обеспечивается посредством всережимного регулятора частоты вращения.

Объекты и методы исследования

В равновесном режиме работа двигателя внутреннего сгорания характеризуется постоянством угловой скорости коленчатого вала при заданной нагрузке. Поддержание такого режима возможно при условии равенства крутящего момента двигателя $M_д$ и момента сопротивления на коленчатом валу M_c [3].

$$M_д = M_c .$$

В неравновесном режиме (в случае неравенства момента двигателя и момента сопротивления) возникают инерционные силы.

$$J_д \cdot \dot{\omega}_д = M_д - M_c , \tag{1}$$

где $J_д$ – приведенный к коленчатому валу момент инерции двигателя;

$\omega_д$ – угловая скорость вала двигателя.

Информационными параметрами в данном случае являются вышеперечисленные параметры. Характеристики крутящего момента двигателя и удельного расхода топлива [4, 5, 6] представлены уравнениями регрессии:

$$M_д = a_0 + a_1 \cdot \omega_д + a_2 \cdot \omega_д^2 + a_3 \cdot h_p + a_4 \cdot \omega_д \cdot h_p + a_5 \cdot h_p^2 ; \tag{2}$$

$$g_e = b_0 + b_1 \cdot \omega_д + b_2 \cdot \omega_д^2 + b_3 \cdot h_p + b_4 \cdot \omega_д \cdot h_p + b_5 \cdot h_p^2 ,$$

где a_i, b_i – коэффициенты регрессии;

h_p – отклонение рейки топливного насоса от положения, соответствующего номинальной подаче топлива.

Движение рейки топливного насоса, снабженного регулятором прямого действия, определяется движением муфты регулятора. Согласно [4], отклонение рейки топливного насоса УТН-5 определяется зависимостью:

$$h_p = 3{,}57 \cdot z\,,$$

где z – перемещение муфты регулятора.

Без учета инерционных сил движение муфты регулятора описывается системой уравнений [7]:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_p \cdot \dot{z} + c_p \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_д^2 - F(\gamma), \ \text{при } z \geq z_н \\ \alpha_p \cdot \dot{z} + c_к \cdot z &= \frac{A(z)}{i_p^2} \cdot \omega_д^2 - F_{к0}, \ \text{при } z < z_н \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

где $z_н$ – положение муфты регулятора, соответствующее номинальной подаче топлива;

α_p – коэффициент вязкого трения в регуляторе;

c_p, $c_к$ – приведенные к муфте жесткости пружин регулятора и корректора;

$A(z)$ – коэффициент поддерживающей силы;

i_p – передаточное число привода вала регулятора;

$F(\gamma)$ – усилие затяжки пружины регулятора, зависящее от угла поворота рычага управления регулятором γ;

$F_{к0}$ – начальное усилие затяжки пружины корректора.

Совместное решение уравнений (1) и (3) представляет определенную сложность. Для решения обычно используются численные методы интегрирования. Решение подобных задач целесообразно осуществлять посредством моделирования на компьютере с помощью специально разработанных программ. К ним относится программный комплекс МВТУ. Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»), разработанный на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, предназначен для исследования и анализа переходных и установившихся процессов в любых динамических системах, в том числе и в автоматических системах, с использованием визуальных средств структурного моделирования [8, 9, 10, 11, 12, 13]. В программном комплексе «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») использован метод структурного моделирования, базирующийся на математических моделях систем автоматического регулирования в виде их структурных схем. В ПК «МВТУ» принята графическая форма ввода исходных данных в компьютер в виде структурной схемы моделирования, которую составляют с использованием соответствующих блоков, имеющихся в библиотеках программного комплекса. По внешнему виду структурная схема моделирования полностью повторяет исходную структурную схему с добавлением специальных блоков для формирования внешних воздействий на систему (задающего и возмущающих воздействий) и регистрации переходных процессов. Возможность графического ввода исходных данных обеспечивается наличием в ПК «МВТУ» графического и текстового редакторов, а также библиотеки графических представлений функциональных блоков и диалоговых средств обучения пользователя.

Результаты исследований

Графически представленная математическая модель в виде структурной схемы (рисунок 1), введенная в компьютер посредством программных средств ПК «МВТУ», автоматически преобразуется в систему уравнений в форме Коши и решается численными методами интегрирования [8, 9, 10, 11].

Перемещение муфты регулятора определяется в «новом» блоке z (рисунок 2) по формулам (3). Крутящий момент двигателя рассчитывается в «новом» блоке M_d (рисунок 3) на основе частоты вращения и положения муфты регулятора по формуле (2). Сопротивление на коленчатом валу задается блоком «ступенчатое воздействие» M_c. Сигналы из блоков M_d и M_c поступают на блок «сумматор», выход из которого идет на блок «интегратор». На выходе из интегратора получается угловая скорость коленвала двигателя. Этот сигнал подается на блоки M_d и z. Для расчета углового ускорения и частоты вращения используются блоки «усилитель».

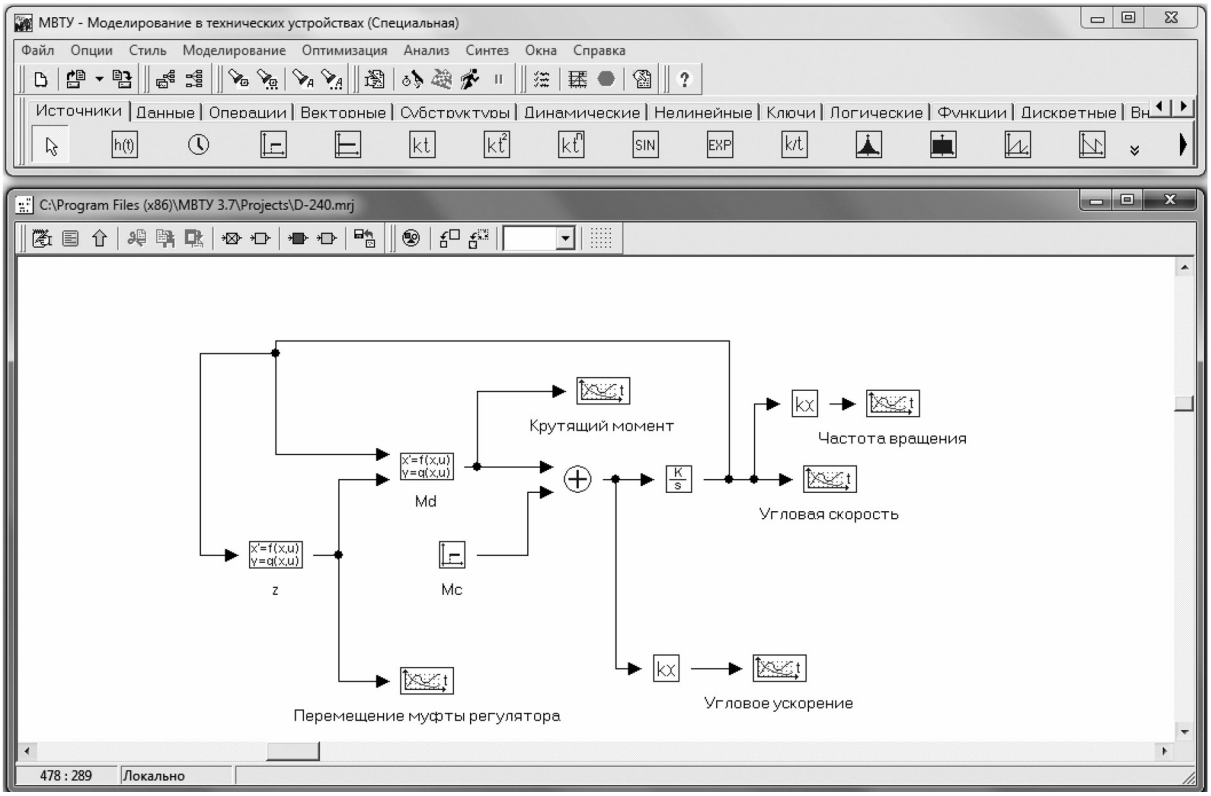


Рисунок 1. – Структурная схема в ПК «МВТУ»

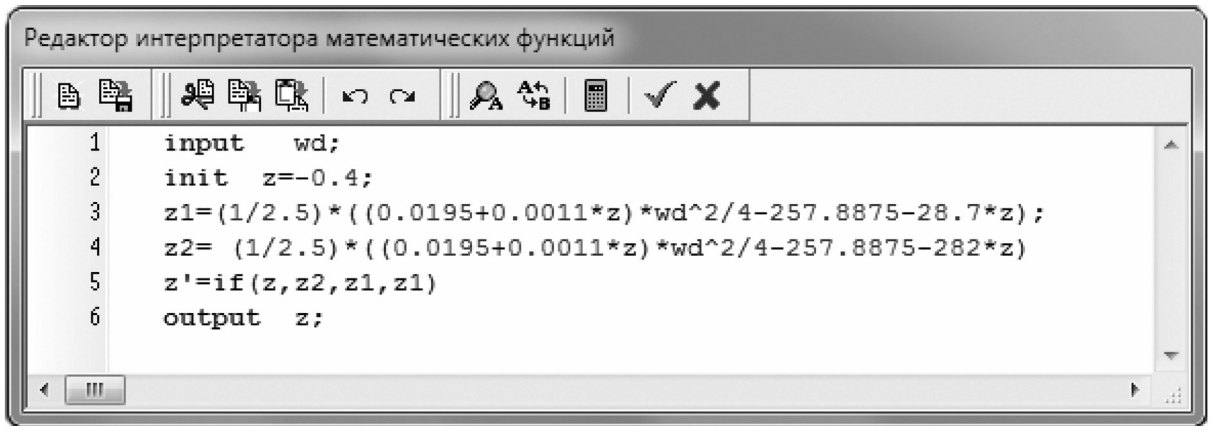


Рисунок 2. – Блок z – перемещение муфты регулятора

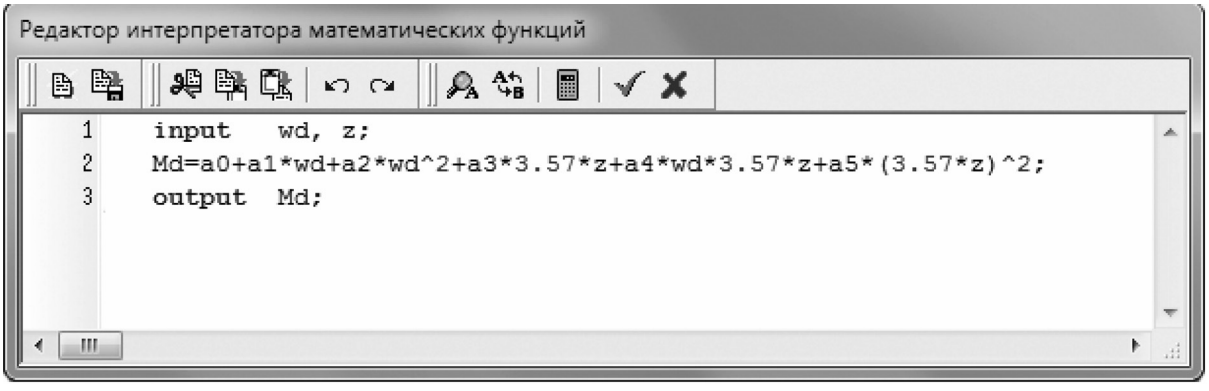


Рисунок 3. – Блок M_d – крутящий момент двигателя

Для просмотра результатов расчета угловой скорости, частоты вращения, углового ускорения, момента двигателя, перемещения муфты регулятора используются блоки «временной график».

В начале двигатель разгоняется без нагрузки с частоты 1625 *мин*$^{-1}$ и выходит на режим холостого хода. Затем на 5 секунде работы ступенчато увеличивается момент сопротивления. Далее двигатель работает при постоянной нагрузке.

Для решения других задач вместо блока «ступенчатое воздействие» M_c присоединяется другой блок из библиотеки «источники входных сигналов» или цепочка блоков, моделирующих трансмиссию трактора и т.п.

Результаты расчета показателей работы двигателя Д-240 с регулятором частоты вращения показаны на рисунках 4–6.

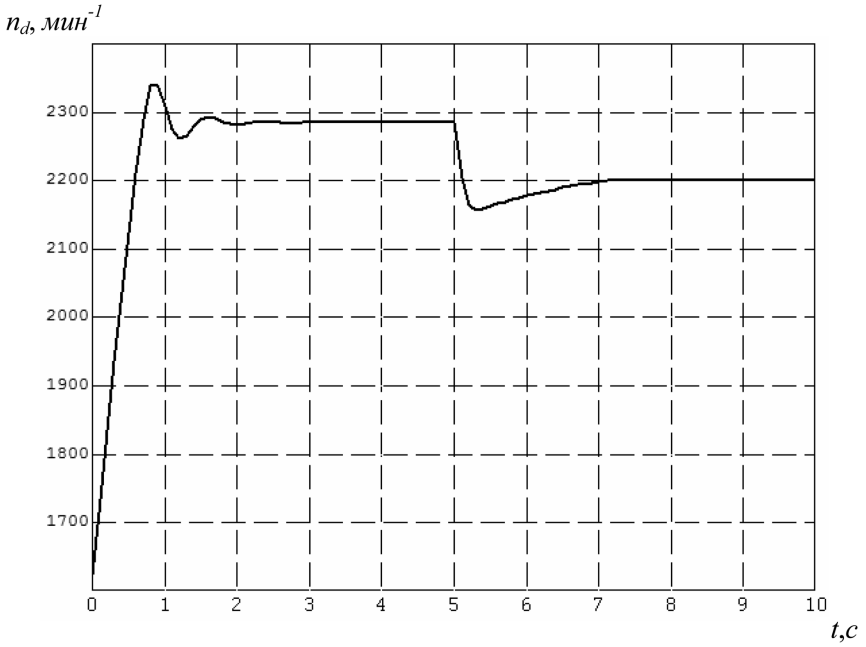


Рисунок 4. – Частота вращения коленчатого вала двигателя

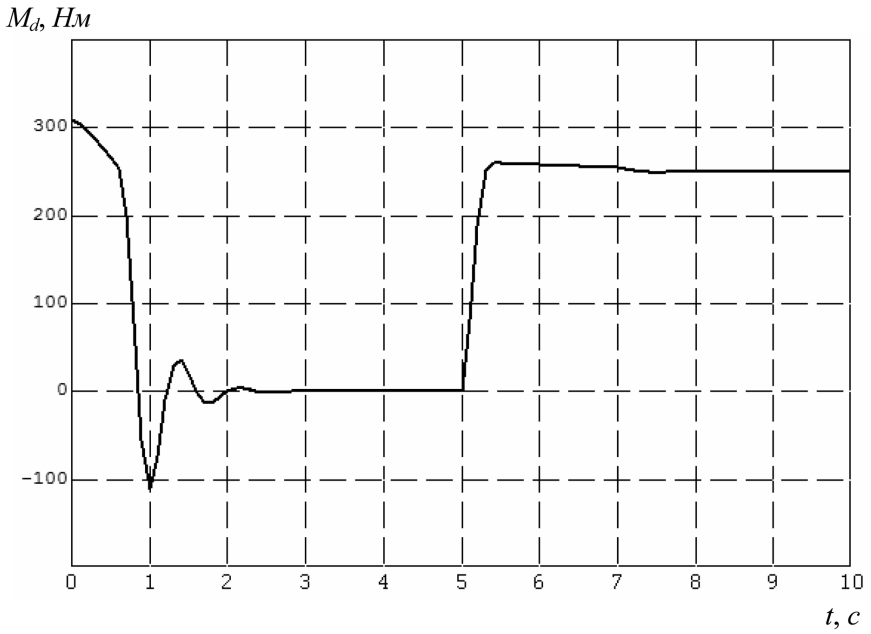


Рисунок 5. – Крутящий момент двигателя

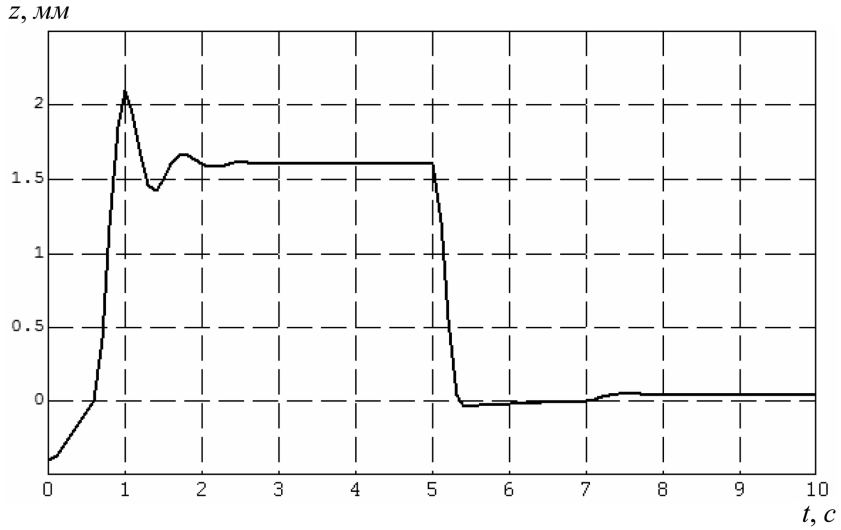


Рисунок 6. – Перемещение муфты регулятора

На рисунке 7 показаны угловые ускорения коленчатого вала при разгоне двигателя без нагрузки для различных коэффициентов вязкого трения в регуляторе.

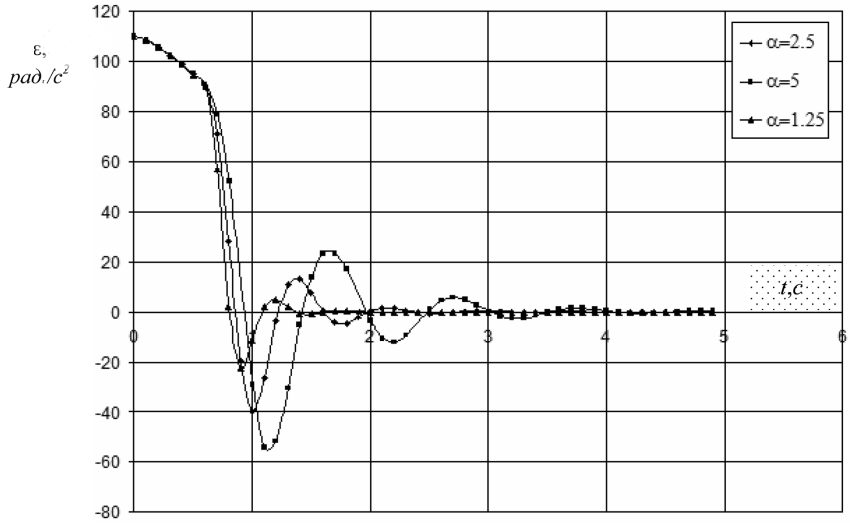


Рисунок 7. – Угловое ускорение коленчатого вала двигателя при различных коэффициентах вязкого трения в регуляторе

Заключение

Моделирование по информационным параметрам в ПК «МВТУ» позволяет анализировать работу дизельного двигателя с регулятором на различных режимах, совершенствовать работу регулятора [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Литература

1. Бородин, И. Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И. Ф. Бородин, Н. И. Кирилин. – Москва: Колос, 1977. – 328 с.

2. Пархоменко, Г. Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве / Г. Г. Пархоменко, С. Г. Пархоменко // Хранение и переработка зерна.– 2017.– № 1 (209). – С. 55–60.

3. Кутьков, Г. М. Тяговая динамика тракторов / Г. М. Кутьков. – Москва: Машиностроение, 1980. – 215 с.

4. Ксеневич, И. П. Системы автоматического управления ступенчатыми трансмиссиями тракторов / И. П. Ксеневич, В. П. Тарасик. – Москва: Машиностроение, 1979. – 280 с.

5. Тарасик, В. П. Проектирование колесных тягово-транспортных машин / В. П. Тарасик. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 163 с.

6. Пархоменко, С. Г. Моделирование работы дизельного двигателя с всережимным регулятором в программном комплексе «МВТУ» / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: материалы V Всероссийской науч.-практ.конф., г. Рубцовск, 26–27 ноября 2015 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. – С. 61–68.

7. Пархоменко, С. Г. Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. Г. Пархоменко. – Зерноград: АЧГАА, 1999. – 156 с.

8. Практикум по автоматике. Математическое моделирование систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов [и др.]; под ред. Б. А. Карташова. – М: КолосС, 2004. – 184 с.

9. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Б. А. Карташов [и др.]; под ред. Б. А. Карташова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 458 с.

10. Пархоменко, С. Г. Параметрическая оптимизация комбинированной следяще-силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сб. науч. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Тамбов, 23–24 сентября 2015 г. – Тамбов, 2015. – С. 18–22.

11. Пархоменко, Г. С. Моделирование на ПЭВМ следящей системы с нелинейным колебательным объектом регулирования / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы Юбилейной XLV Междунар. науч.-техн.конф., г. Челябинск, 2–3 марта 2006 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2006. – Ч. 4. – С. 34–38.

12. Пархоменко, Г. С. Расчет в MATHCAD рабочих режимов тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы XLIV Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 26–27 января 2005 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2005. – С. 271–275.

13. Пархоменко, Г. С. Анализ рабочих режимов и расчет на ПЭВМ состава тяговых машинно-тракторных агрегатов / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Материалы XLIV Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 2003 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2003. – С. 315–320.

14. Пархоменко, С. Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 15–19.

15. Пархоменко, С. Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 3 (18). – С. 40–47.

16. Пархоменко, Г. Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин / Г. Г. Пархоменко, С. Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 87–91.

17. Пархоменко, Г. С. Моделирование в программном комплексе «МВТУ» динамики мобильных сельскохозяйственных машин и нелинейных следящих систем / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Совершенствование технологий и средств механизации полеводства: межвузовский сб. тр. к 75-летию академии (г. Зерноград, АЧГАА). – Зерноград, 2005. – С. 86–92.

18. Пархоменко, С. Г. Динамометрирование навесных сельскохозяйственных машин / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124-1. – С. 125–129.

19. Пархоменко, Г. С. Моделирование на ПЭВМ по программному комплексу «МВТУ» усовершенствованной силовой САР трактора МТЗ-80 / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Материалы XLIII Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 2004 г. / Челябинский ГАУ. – Челябинск, 2004. – С. 22–26.

20. Пархоменко, Г. С. Методика параметрической оптимизации в программном комплексе «МВТУ» комбинированной следяще-силовой САР пахотного агрегата с трактором класса 1,4 / Г. С. Пархоменко, С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Совершенствование технических средств в растениеводстве: межвузовский сб. науч. тр. – Зерноград, 2010. – С. 3–12.