УДК 631.3-52.001.57

МЕТОД СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Пархоменко С.Г., доцент кафедры тракторов и автомобилей, кандидат технических наук, доцент (Азово – Черноморский инженерный институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде, тел. 89188917773, e-mail: s-parkhom@mail.ru)

Пархоменко Г.Г., ведущий научный сотрудник отдела механизации полеводства, кандидат технических наук (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо – Кавказский научно – исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», г. Зерноград, тел. 89188917774, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru)

***Аннотация**. Статья посвящена вопросам стабилизации тягового сопротивления машин для обработки почвы. Предлагаемый метод позволяет повысить эффективность регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов с допускаемыми отклонениями глубины обработки почвы.*

***Ключевые слова:** почва, силовой регулятор, следящие системы, эксплуатация*

В условиях интенсификации современного с/х производства особое значение приобретает задача автоматизации технологических процессов обработки почвы [1, 2]. Увеличение ширины захвата машины, рабочей скорости и, как следствие, производительности; повышение мощности энергосредства, точности регулирования режимов эксплуатации требует разработки современных систем автоматического регулирования (САР) почвообрабатывающих агрегатов. Для автоматизации имеются реальные предпосылки, состоящие в том современные энергосредства, агрегатирующие почвообрабатывающие машины, оснащены гидроприводом.

Одним из направлений автоматизации почвообрабатывающих агрегатов является стабилизация тягового сопротивления машин при допускаемом отклонении глубины рыхления от требуемой. Это способствует улучшению эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающего агрегата: повысить загрузку двигателя, увеличить производительность и снизить расход топлива энергосредства. Однако возникает противоречие при выполнении требований стабилизации тягового сопротивления и соблюдения допускаемого отклонения глубины от требуемой ввиду неровности поверхности поля и непостоянства физико-механических свойств почвы (влажности, твёрдости, механического состава). Это обеспечивается при высокой точности устройств для автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов (регуля-

торов). Силовые регуляторы не обеспечивают достаточной точности [3]. Рабочий процесс силовой САР характеризуется рысканием исполнительного механизма, причиной которого являются большие гистерезисные потери от сил сухого трения в сопряжениях силоизмерительного устройства, появление которых обусловлено несовершенством его кинематической схемы, что неизбежно приводит к увеличению ошибки и снижению точности регулирования. Отсутствие сведений о влиянии демпфирующих свойств почвы на параметры процесса функционирования почвообрабатывающего агрегата зачастую приводит к неоправданному увеличению запаса устойчивости САР, что также приводит к снижению точности регулирования. Высокая точность достигается только при использовании дополнительного автоматического следящего [4] регулирования глубины обработки почвы, применение которого ограничено в связи с отсутствием научно-обоснованных методик оптимизации САР эксплуатационных режимов работы агрегата.

Цель: повышение эффективности регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов.

Методика. В теории САР [5] исследование систем состоит из нескольких этапов:

- расчленение системы на отдельные звенья и выбор обобщённых координат;
- определение статических характеристик звеньев;
- составление уравнений движения звеньев;
- составление структурной схемы системы;
- составление и анализ дифференциального уравнения движения системы с целью оптимизации параметров.

Дифференциальные уравнения движения системы на основании принципа суперпозиции составляются по каждому из возмущений отдельно и в результате представления их в изображениях по Лапласу, определяются передаточные функции звеньев. Затем определяются модульные амплитудные частотные характеристики с помощью преобразования Фурье, на основании которых осуществляется анализ САР в диапазоне изменения максимумов спектральных плотностей входных воздействий из условия минимального значения выходного параметра. Для получения искомого дифференциального уравнения движения системы осуществляется обратное преобразование Лапласа передаточных функций.

Для оптимизации параметров САР эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов использован метод структурного моделирования [6] в программном комплексе «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»), разработанным на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Структурная схема моделирования в ПК «МВТУ» составляется с использованием функциональных блоков из библиотек программного комплекса. Структурная схема моделирования преобразуется в систему уравнений в форме Коши, оптимизация параметров осуществляется численными методами интегрирования [7].

Результаты и обсуждения. Структурная схема моделирования представлена на рис. 1.

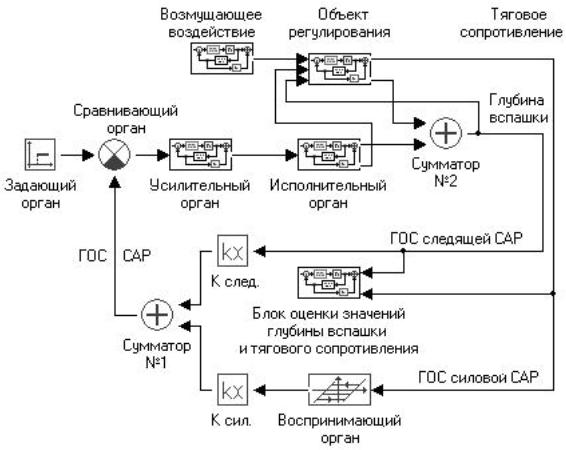


Рис. 1. Структурная схема моделирования комбинированной следяще-силовой САР почвообрабатывающего агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35: ГОС – главная обратная связь, $К_{след}$ – коэффициент усиления следящей САР; $К_{сил}$ – коэффициент усиления силовой САР

В ПК «МВТУ» предусмотрен режим оптимизации параметров САР по характеристикам переходных процессов при ступенчатых входных воздействиях. Наиболее точно оптимизацию параметров САР производить по критерию допускаемой неравномерности глубины обработки почвы при достаточной эффективности силового регулирования, т. е. при некоторых периодических детерминированных возмущающих воздействиях, например, при треугольном, которое наиболее полно соответствует реальным условиям работы, в отличие от ступенчатого (прямоугольного).

Для расчёта критериев оптимизации [8, 9, 10, 11, 12] разработан блок оценки значений глубины обработки почвы и тягового сопротивления агрегата (рис. 2).

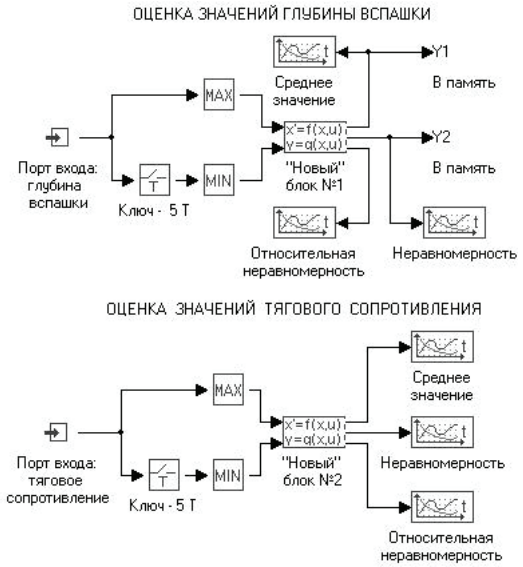


Рис. 2. Блок оценки значений глубины обработки почвы и тягового сопротивления агрегата

Неравномерность глубины вспашки и тягового сопротивления вычисляются по алгоритмам соответственно в блоках: «Новый» блок №1 и «Новый» блок №2.

Тяговое сопротивление почвообрабатывающего агрегата определяется по формуле:

$$R = K_0 \cdot B \cdot a \cdot \left[1 + \left(V_p - V_0 \right) \cdot \frac{\Delta c}{100} \right] + m \cdot \frac{dV_p}{dt} \quad ,$$

где K_o – удельное сопротивление почвы (кПа) при начальной скорости движения V_o равной 5 км/ч;

B – ширина захвата почвообрабатывающего агрегата, м;

a – глубина обработки почвы, м;

V_p – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;

Δ_c – изменение удельного сопротивления (%) при изменении скорости движения на 1 км/ч от начальной ;

m – масса почвообрабатывающего агрегата с почвой, находящейся на рабочих органах, т;

t– текущее время, с.

Применительно к пахотному агрегату МТЗ-80 и ПН-3-35 [13] оптимальные коэффициенты усиления в ГОС САР составляют : $К_{след}$ =0,18 и $К_{сил}$ =0,52, при сокращении доли силового регулирования и увеличении следящего ($К_{след}$ =0,63; $К_{сил}$ =2,07) неустойчивость глубины снижена до 0,01 м (4,8%) за счёт возросшей до 16,2% неравномерности тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата.

Выводы:

• Разработанная по предлагаемому методу следяще-силовая САР применительно к пахотному агрегату МТЗ-80 и ПН-3-35 обеспечивает выполнение агротехнических требований в пределах допускаемого отклонения глубины обработки почвы от заданной.

• Для конкретных условий эксплуатации с помощью разработанного метода можно выбирать наиболее подходящие варианты улучшения агротехнических показателей и повышения эффективности почвобрабатывающего агрегата.

Литература

1. Пархоменко, Г.Г. Повышение эксплуатационной надёжности САР почвообрабатывающих машин / Г.Г. Пархоменко, С.Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 87-91.

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

3. Пархоменко, Г.С. Компьютерное моделирование усовершенствованной силовой САР трактора МТЗ-80 / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: Сборник научных трудов. Т. III. – Ставрополь. – 2003. – С. 744-749.

4. Пархоменко, Г.Г. Совершенствование технологического процесса обработки почвы в рядах многолетних насаждений / Пархоменко Галина Геннадьевна // Дисс….канд. техн. наук: 05.20.01 – Зерноград, 2000. – 156 с.

5. Настенко, Н.Н. Основы автоматизации сельскохозяйственного производства / Н.Н. Настенко, Л.А. Борошок. – М.: Колос, 1967. – 231 с.

6. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко; под ред. Б.А. Карташова. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 458 с.

7. 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: Матер. V Всероссийской научно-практич. конф. – Рубцовск. – 2015. – С. 61-68.

8. Пархоменко, Г.С. Расчёт в MATHCAD рабочих режимов тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Достижения науки – агропромышленному производству: Матер. XLIV Междунар. научно-техн. конф. ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет». – Челябинск. – 2005. – С. 271-275.

9. Пархоменко, Г.С. Анализ рабочих режимов и расчёт на ПЭВМ состава тяговых машинно-тракторных агрегатов / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Матер. XLII Междунар. научно-техн. конф. ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет». – Челябинск. – 2003. – С. 315-320.

10. 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 // Матер. XLIII Междунар. научно-технич. конф. ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет». – Челябинск. – 2004. – С. 22-26.

11. Пархоменко, Г.С. Моделирование на ПЭВМ следящей системы с нелинейным колебательным объектом регулирования / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Матер. XLV Междунар. научно-технич. конф. ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет». – Челябинск. – 2006. – С. 34-38.

12. 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 сборник научных трудов – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – С. 3-12.

13. 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: сборник научных докладов Междунар. научно-практ. конф. – Тамбов. – С. 18-22.

METHOD OF STRUCTURAL MODELING OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF OPERATIONAL MODES OF TILLAGE UNITS

S. G. Parkhomenko, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the tractor and automobile department,
(Azov-Black Sea Engineering Institute – branch FSBEE HE «Don State Agrarian University» in Zernograd. Phone: 89188917773, e-mail: s-parkhom@mail.ru
G. G. Parkhomenko, Candidate of Technical Sciences, leading research staff member of the department of field crop cultivation mechanization
(Federal State Budgetary Scientific Institution Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. Phone: 89188917774, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru)

Annotation. *The article is devoted to stabilize traction resistance for soil processing machines. The proposed method allows to increase the effectiveness of regulation of operating modes of tillage units with the permitted deviations tillage depth.*

Keywords*: soil, power regulator, servo system, operation*

References

1. Parkhomenko G. G., Parkhomenko S. G. Increasing the operational reliability of automatic control systems of tillage machines. Trudy GOSNITI [Proc. of the GOSNITI]. Moscow, 2016, Vol. 122, pp. 87-91 (in Russ.).

2. Parkhomenko S. G. Sovershenstvovanie funktsionirovaniya MTA s kolesnym traktorom klassa 1,4 na osnove optimizatsii parametrov pnevmaticheskikh shin. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the operation of the machine-tractor unit with a wheel tractor grade 1,4, based on the optimization of parameters of pneumatic tires. Cand. tech. sci. diss.]. Zernograd, 1999, 156 p. (in Russ.).

3. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Computer modeling of the advanced power system of automatic control of tractor MTZ – 80. Fiziko-tekhnicheskie problemy sozdaniya novykh tekhnologiy v agropromyshlennom komplekse: Sbornik nauchnykh trudov. T. III. [Physical and technical problems of creation of new technologies in the agro-industrial complex: Collection of scientific papers vol. III]. Stavropol, 2003, pp. 744-749 (in Russ.).

4. Parkhomenko G. G. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa obrabotki pochvy v ryadakh mnogoletnikh nasazhdeniy. Diss. kand. tekhn. nauk. [Improving the process of tillage in the ranks of perennial crops. Cand. tech. sci. diss.]. Zernograd, 2000, 156 p. (in Russ.).

5. Nastenko N.N., Boroshok L.A. Osnovy avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Fundamentals of automation of agricultural production]. Moscow, "Kolos" Publ., 1967. 231 p.

6. Kartashov B.A., Kartashov A.B., Kozlov O.S., Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G. Sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya: praktikum po matematicheskomu modelirovaniyu. [Automatic control systems: workshop on mathematical modeling]. Rostov-on-Don, "Feniks" Publ., 2015, 458 p.

7. Parkhomenko S. G., Parkhomenko G.G. Modelling of operation of the diesel engine with the all-speed governor in the software package MBTY. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: problemy, sostoyanie i perspektivy: Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 26-27 noyabrya 2015 g. Rubtsovskiy industrial'nyy institut. [Modern equipment and technologies: problems, state and prospects. Mater. V All-Russian pract. sci. conf. November 26-27, 2015, RII]. Rubtsovsk, 2015. pp. 61–68 (in Russ.).

8. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Calculation in MATHCAD operating modes of the traction-drive machine-tractor units. Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu: Mater. XLIV Mezhdunar. nauchno – tekhn. konf. FGOU VPO «Chelyabinskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet» [Advances in science - agricultural production: Materials XLIV Intern. scientific and technical. Conf. FSEI HPE «Chelyabinsk state Agroengineering University]. Chelyabinsk, 2005, pp. 271-275 (in Russ.).

9. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. An analysis of the operating modes and the calculation on the PC composition traction tractor units. Mater. XLII Mezhdunar. nauchno – tekhn. konf. FGOU VPO «Chelyabinskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet» [Mater. XLII Intern. scientific and technical. Conf. FSEI HPE «Chelyabinsk state Agroengineering University]. Chelyabinsk, 2003, pp. 315-320 (in Russ.).

10. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Modeling on the PC for software complex MBTY advanced power system of automatic control of tractor MTZ – 80. Mater. XLIII Mezhdunar. nauchno – tekhn. konf. FGOU VPO «Chelyabinskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet» [Mater. XLIII Intern. scientific and Techn. Conf. FSEI HPE «Chelyabinsk state Agroengineering University]. Chelyabinsk, 2004, pp. 22-26 (in Russ.).

11. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Modeling on the PC servo system with nonlinear oscillatory object of regulation. Mater. XLV Mezhdunar. nauchno – tekhn. konf. FGOU VPO «Chelyabinskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet» [Mater. XLV Intern. scientific and Techn. Conf. FSEI HPE «Chelyabinsk state Agroengineering University]. Chelyabinsk, 2006. pp. 34-38 (in Russ.).

12. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. The methodology of parametric optimization in the software package MBTY of a combined slease – power system of automatic control of arable unit with a tractor grade 1,4. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv v rastenievodstve. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Improvement of technical equipment in crop production. Interuniversity collection of scientific papers]. Zernograd, 2010, pp.3-12 (in Russ.).

13. Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Parametric optimization of a combined slease – power system of automatic control of arable unit. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii – novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva: Sbornik nauchnykh dokladov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 23 – 24 sentyabrya 2015 goda, g. Tambov. [Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products – new technologies and a new generation of equipment for crops and livestock. Collection of scientific reports of XVIII Intern. scientific-practical. Conf., September 23-24, 2015, Tambov]. Tambov, R. V. Pershin publishing house, 2015, pp. 18–22. (in Russ.).