УДК 631.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CROP PRODUCTION USING DIGITAL TECHNOLOGIES

ПАРХОМЕНКО С. Г.[1], *канд. техн. наук.,* ***ПАРХОМЕНКО Г. Г.[2],*** *канд. техн. наук.*
[1] - Азово-Черноморский инженерный институт - филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Зерноград, Россия
[2] – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» - структурное подразделение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград, Россия
S. PARKHOMENKO[1], *Cand. tech. sci.,* ***G. PARKHOMENKO[1],*** *Cand. tech. sci.,*
[1] - Azov-Black Sea Engineering Institute branch - "Don State Agrarian University", Zernograd, Russia
[2] - "Agrarian Scientific Center" Donskoy" structural subdivision "North Caucasus Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture", Zernograd, Russia

Аннотация. *Инновации в растениеводстве основаны на механизации и автоматизации технологических процессов. Не всегда технические средства, применяемые в растениеводстве, соответствуют требуемым агротехническим (качественным) и энергетическим показателям. Для улучшения показателей технологических процессов в растениеводстве необходимо использовать современные средства моделирования. Современные средства моделирования технологических процессов должны основываться на цифровых технологиях. Цель исследования: охарактеризовать наиболее эффективный способ оптимизации режимов и параметров технических средств, основанный на современных цифровых технологиях. На основе использования цифровых технологий в МГТУ имени Н.Э. Баумана был разработан программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»). В программном пакете «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») использовался метод структурного моделирования. Схема структурного моделирования составлена с использованием соответствующих блоков. Структурная схема моделирования полностью повторяет начальную с добавлением специальных блоков для формирования внешних воздействий на систему и регистрации переходных процессов.*

Abstract. *Innovations in crop production are based on the mechanization and automation of technological processes. Not always the technical means used in crop production correspond to the required agrotechnical (quality) and energy indicators. To improve the indicators of technological processes in crop production it is necessary to use modern modeling tools. Modern tools for modeling technological processes should be based on digital technology. The purpose of research is to characterize the most effective way to optimize the modes and parameters of technical equipment, based on modern digital technologies. Based on the use of digital technologies the software complex "Modeling in technical devices" (PC "MVTU") was developed in MSTU named after N. E. Bauman. In the software package "Modeling in technical devices" (PC "MVTU") used the method of structural modeling. The structural simulation scheme is composed using the appropriate blocks. The structural block diagram of the simulation completely repeats the initial one with the addition of special blocks for the formation of external influences on the system and the*

Разработан метод компьютерного моделирования систем автоматического регулирования. Рассмотрен пример оптимизации параметров механизма перемещения рабочих органов садовой почвообрабатывающей машины. Рассмотрена параметрическая оптимизация системы автоматического регулирования почвообрабатывающего агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35 в ПК «МВТУ». По результатам моделирования можно выбрать наиболее подходящие варианты улучшения качественных и энергетических показателей технологического процесса. Представлена математическая модель дизельного двигателя с всережимным регулятором. Приведена методика моделирования в программном комплексе «МВТУ» работы двигателя Д-240. Представлена методика компьютерного моделирования системы автоматического регулирования загрузки зернодробилки.

Ключевые слова: *моделирование, оптимизация параметров, показатели технологического процесса.*

registration of transients. Developed the method of computer modeling of automatic control systems. An example of optimization of the parameters of the mechanism for moving the working bodies of a garden soil-cultivating machine is considered. The parametric optimization of the automatic control system of the tillage machine MTZ-80 and PN-3-35 in the PC "MVTU" is considered. By the simulation results can select most appropriate options for improving the quality and energy indicators of the technological process. 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 operation of the engine D-240. Presents method of computer modeling automatic control system for loading of grain crusher.

Keywords: *modeling, of parameters optimization, indicators of technological process.*

Введение

Инновации в современном сельскохозяйственном производстве и в одной из основных его отраслей растениеводстве основаны на механизации технологических процессов и автоматизации посредством применения систем автоматического регулирования (САР). Однако не всегда технические средства, применяемые в растениеводстве, выполняют требуемые агротехнические (качественные) и энергетические показатели технологического процесса из несоответствия оптимальным их параметров и режимов работы. Для улучшения показателей технологических процессов в растениеводстве необходимо использовать современные средства моделирования [1-4], основанные на цифровых технологиях.

Цель исследования: охарактеризовать наиболее эффективный способ оптимизации режимов и параметров технических средств, основанный на современных цифровых технологиях.

Материалы и методы

На основе использования цифровых технологий разработан Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ»), предназначен для исследования и анализа переходных и установившихся процессов в любых динамических системах, в том числе и в САР, с использованием визуальных средств структурного моделирования [5-8]. ПК «МВТУ» разработан на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» Московского государственного технического

университета им. Н.Э. Баумана.

В программном комплексе «Моделирование в технических устройствах» (ПК «МВТУ») использован метод структурного моделирования, основанный 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. Для решения различных задач используются блок или цепочка блоков из библиотеки «Источники входных сигналов».

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.

Графически представленная математическая модель в виде её структурной схемы, введенная в компьютер посредством программных средств ПК «МВТУ», автоматически преобразуется в систему уравнений в форме Коши и решается численными методами интегрирования.

Для просмотра результатов расчёта параметров используются блоки «Временной график».

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассмотрим параметрическую оптимизацию комбинированной следяще-силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35 по критерию допускаемая неравномерность глубины вспашки при достаточной эффективности силового регулирования, при отсутствии возмущающих воздействий от неровностей поля на объект регулирования, т.е. на поле с ровной поверхностью.

Для преобразования САР в схему силового введён контур следящего регулирования качественных при условии стабилизации энергетических показателей технологического процесса (рисунок 1).

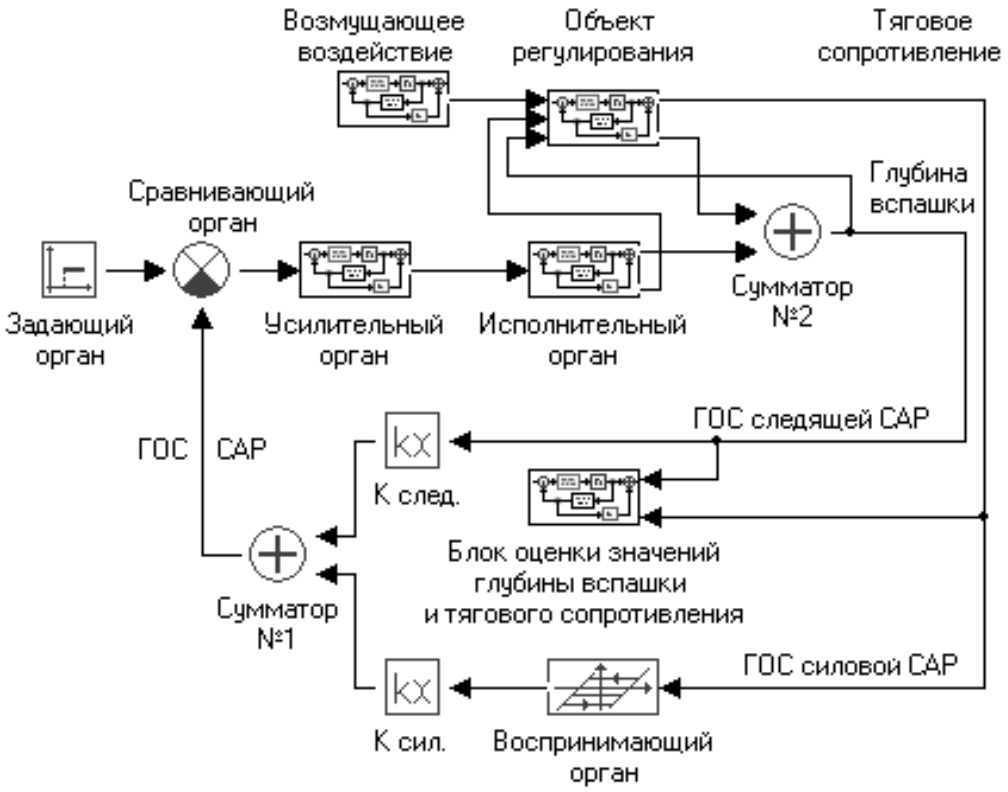


Рисунок 1 – Структурная схема следяще-силовой САР пахотного агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35 в ПК «МВТУ»

В качестве чувствительного элемента силовой САР («Воспринимающий орган» в Главной Обратной Связи (ГОС)) использован пружинный силовой датчик тягового сопротивления навесной машины, который имеет статическую нелинейность типа «Зазор». Сигнал от датчика поступает на «Сумматор № 1» через усилительное безынерционное звено с коэффициентом усиления силового контура $K_{сил}$. Чувствительным элементом следящей САР является усилительное безынерционное звено с коэффициентом усиления следящего контура $K_{след}$ в ГОС следящей САР, сигнал с которого также поступает на «Сумматор № 1». Величиной коэффициентов $K_{след}$ и $K_{сил}$ задается интенсивность каждого контура регулирования в следяще-силовой САР.

Нарушение устойчивости протекания технологического процесса при производстве продукции растениеводства может быть обусловлено нерационально выбранными режимами работы самого энергосредства. При моделировании работы дизельного двигателя в ПК «МВТУ» (рисунок 2) перемещение муфты определяется в «новом» блоке z, крутящий момент двигателя рассчитывается M_d на основании частоты вращения и положения муфты регулятора, сопротивление на коленчатом валу задается блоком «Ступенчатое воздействие» M_c.

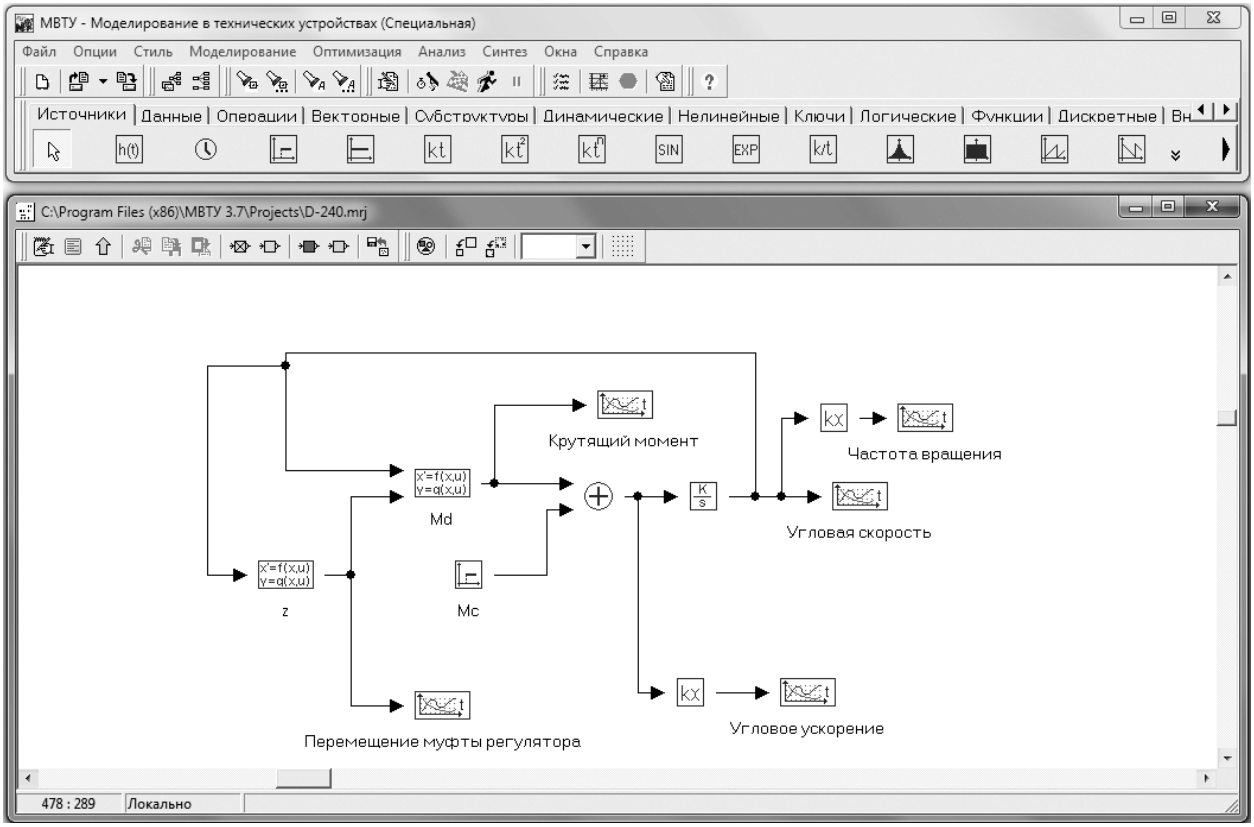
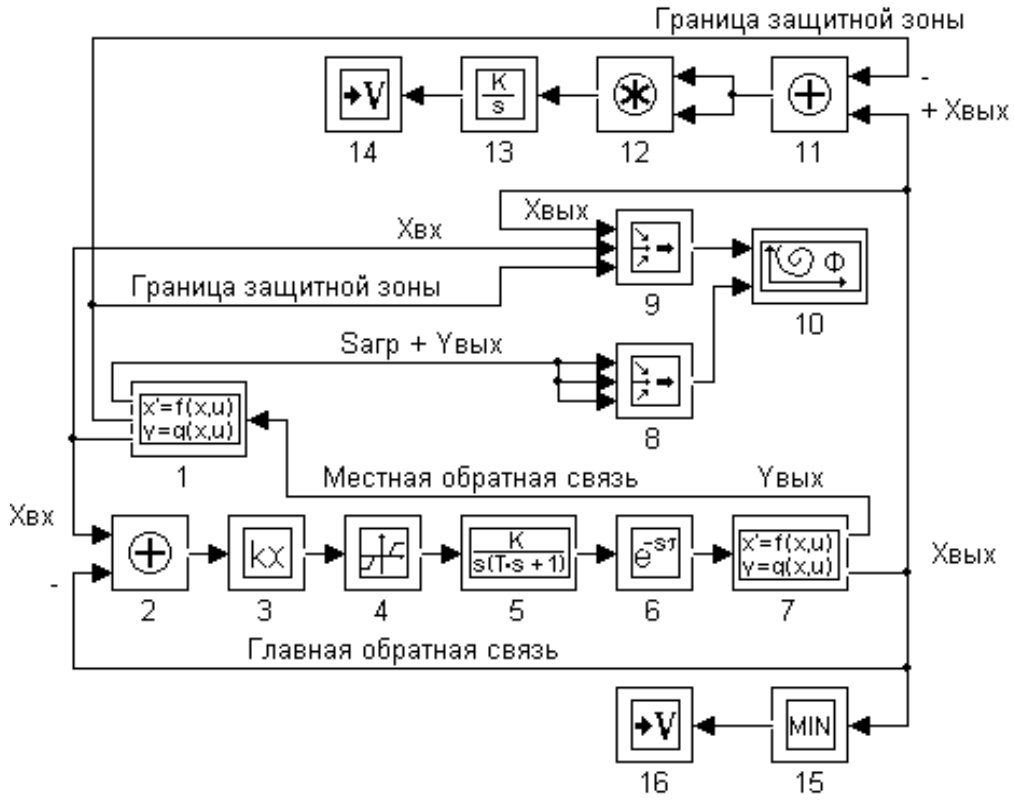


Рисунок 2 – Структурная схема дизельного двигателя с регулятором частоты вращения в ПК «МВТУ»

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 подаётся на блоки M_d и z. Для расчёта углового ускорения и частоты вращения используются блоки «Усилитель».

В результате исследований на ПЭВМ с помощью ПК «МВТУ» оптимизированы [9, 10] параметры механизма перемещения рабочего органа садовой почвообрабатывающей машины (рисунок 3) по критерию наименьшей необработанной площади почвы за пределами заданной защитной зоны около штамба.



1 – задающий орган; 2 – сравнивающий орган; 3 – воспринимающий орган; 4 – усилительный орган; 5, 6 – исполнительный орган; 7 – объект регулирования; 8, 9, 10 – блоки для построения графиков; 11, 12, 13, 14, 15, 16 – блоки для параметрической оптимизации САР

Рисунок 3 – Структурная схема следящей системы садовой почвообрабатывающей машины в ПК «МВТУ»

САР, представленная на рисунке 4, предназначена для стабилизации загрузки зернодробилки посредством поддержания тока приводного асинхронного двигателя в пределах его номинального значения.

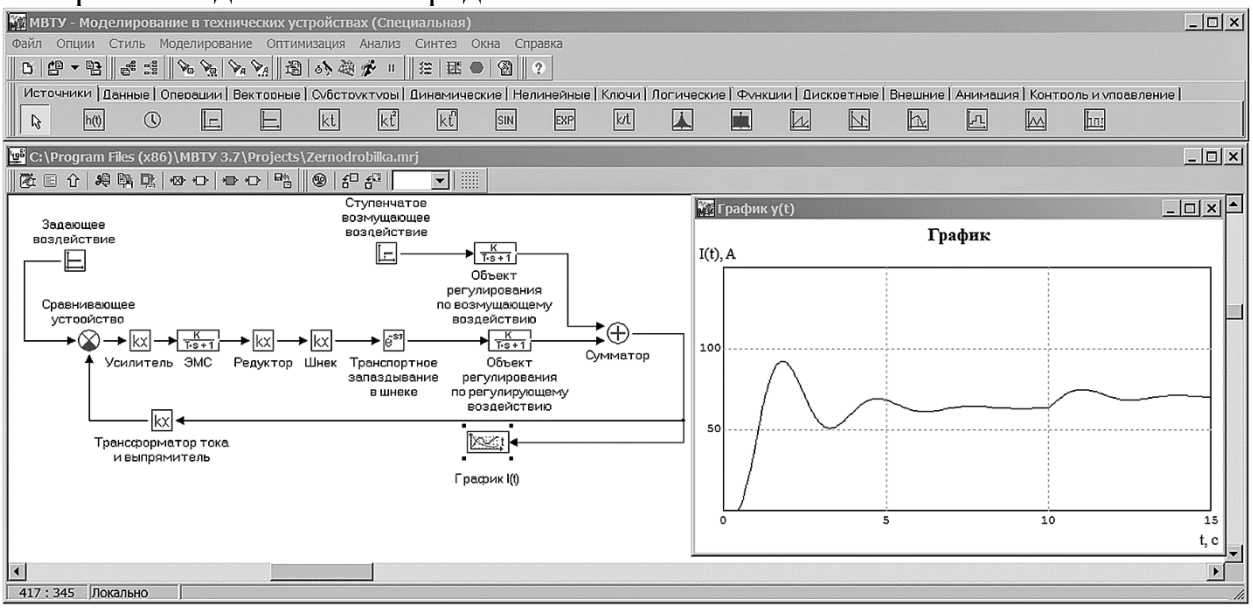


Рисунок 4 – Структурная схема моделирования САР загрузки зернодробилки

Объектом регулирования САР является дробилка совместно с редуктором и приводным электродвигателем. Регулируемая величина объекта – ток

двигателя, регулирующее воздействие – количество зерна, подаваемого в дробилку. Основными возмущениями, вызывающими отклонение тока нагрузки электродвигателя, являются изменения физико-механических свойств зерна (влажности, твёрдости, вязкости, прочности, размеров, формы), износ молотков, несимметрия и снижение напряжения и т.п. При моделировании САР в качестве возмущающего воздействия принято отклонение напряжения питающей сети.

С помощью графиков переходных процессов при различных значениях коэффициента усиления определяется устойчивость протекания технологического процесса загрузки зернодробилки.

Выводы

Для обеспечения устойчивости протекания технологических процессов технических средств, оснащённых системами автоматического регулирования в растениеводстве и оптимизации их параметров целесообразно использовать программный комплекс «Моделирование в технических устройствах», основанный на современных цифровых технологиях.

Литература

1. Parsa-Pajouh A., Fatahi B., Khabbaz H. Experimental and Numerical Investigations to Evalute Two-Dimensional Modeling of Vertical Drain-Assited Preloading. // *International Journal of Geomechanics*. 2015. V.16(1). P. 1058–77. DOI:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000507.

2. Золотаревская Д.И. Обоснование и экспериментальное подтверждение математических моделей закономерностей деформирования вязкоупругих почв. *Международный журнал экспериментального образования*. 2013. N3. С. 72-76.

3. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве. // *Хранение и переработка зерна*. 2017. N1 (209). С. 55-60.

4. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов. // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N3 (18). С. 40-47.

5. Карташов Б.А., Карташов А.Б., Козлов О.С., Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г. Системы автоматического регулирования. Ростов на Дону. Феникс. 2015. 458 с.

6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Параметрическая оптимизация комбинированной следяще-силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата // *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. 2015. С. 18-22.

7. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов // *Труды ГОСНИТИ*. 2017. Т. 126. С. 55-61.

8. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Моделирование следящих систем почвообрабатывающих агрегатов. // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N1. С. 22-31.

9. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г., Теоретическое исследование механизмов перемещения рабочих органов для обработки почвы // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сб. науч. докладов Междунар. научно-технич. конф. ФГБНУ ВИМ*. 2015. С. 210-214.

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

References

1. Parsa-Pajouh A., Fatahi B., Khabbaz H. Experimental and Numerical Investigations to Evalute Two-Dimensional Modeling of Vertical Drain-Assited Preloading. // *International Journal of Geomechanics*. 2015. V.16(1). P. 1058–77. DOI:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000507 (in English).

2. Zolotarevskaya D.I. Justification and experimental confirmation of mathematical models of the laws of deformation of viscoelastic soils. International Journal of Experimental Education, 2013, 3: 72-76 (in Russian).

3. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in plant growing. *Khraneniye i pererabotka zerna*, 2017; N1 (209): 55-60 (in Russian).

4. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Increase of energy efficiency of mobile tillage units. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve.* 2016; 3 (18): 40-47 (in Russian).

5. Kartashov B.A., Kartashov A.B., Kozlov O.S., Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G. Automatic control systems. Rostov on Don, Feniks, 2015: 458 (in Russian).

6. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Parametric optimization of the combined tracking-power system of automatic control of the arable unit // *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii – novyye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rasteniyevodstva i zhivotnovodstva: sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunar. nauchno-prakt. konf.*, Tambov, 2015: 18-22 (in Russian).

7. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. The method of structural modeling of systems of automatic regulation of operating regimes of soil cultivating units. *Trudy GOSNITI*, 2017; 126: 55-61 (in Russian).

8. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Simulation of tracking systems of tillage units. // *Tractors and agricultural machinery*, 2017, 1: 22-31 (in Russian).

9. Parkhomenko GG, Parkhomenko SG, Theoretical study of the mechanisms of displacement of working bodies for tillage // *Intellektual'nyye mashinnyye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. dokladov Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf. FGBNU VIM*, 2015: 210-214 (in Russian).

10. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Increase of operational reliability of SAR of tillage machines. *Trudy GOSNITI.* 2016; 122: 87-91. (in Russian).