

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ПУТЕМ ВНЕСЕНИЯ КОРРЕКТИРОВОК В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ

**ЛИМОРЕНКО МАРИЯ ЕВГЕНЬЕВНА**, старший преподаватель<sup>1</sup>

E-mail: limorenkome@bmstu.ru

**ПОДЧАСОВ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ**, заведующий лабораторией<sup>2</sup>

E-mail: podch@mail.ru

**ПОДЧАСОВ ЕВГЕНИЙ ОЛЕГОВИЧ**, ассистент<sup>1, 3</sup>

E-mail: podchasov@bmstu.ru

**ТЕРЕНТЬЕВА АРИНА ДМИТРИЕВНА**, ассистент<sup>1, 3</sup>

E-mail: terentevaad@bmstu.ru

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана; 105005, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук; 101990, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, Москва, Российская Федерация

Для ранее созданной математической модели рабочего механизма одноковшового экскаватора Четра ЭГП-230, дополненной динамическими характеристиками при работе, позволяющей учитывать точность производимых работ с учетом сил резания, предложена методика внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом. В качестве метода внесения корректировок выбраны адаптивные методы управления, поскольку только они позволяют активно воздействовать на ход копания с учетом непрерывно изменяющихся условий работы. Процесс управления рассматривается для плоской модели рабочего механизма без учета поворотной платформы, так как адаптивное управление вводится только при копании, с целью предотвращения чрезмерного заглубления ковша рабочего механизма. Среди всех методов адаптивного управления выбраны методы управления по скользящей средней, поскольку они включают в себя информацию о нескольких последних измеренных параметрах, что позволяет наиболее эффективно вводить корректировки. Рассмотрены несколько формул, по которым могли бы рассчитываться корректировки, вносимые в систему управления рабочим механизмом, а также предложен коэффициент управления точностью для оценки эффективности вводимого управления. Для этих формул рассмотрен предлагаемый метод внесения корректировок в ряде случаев: при разных законах распределения измеряемой величины; при различном допуске отклонении измеряемой величины; при введении систематической погрешности измеряемой величины; при изменении объема измерений. Также оценивается эффективность регулирования по методике управления качеством, описанной в серии ГОСТ Р 50779. На основании проведенных экспериментов показано, что предлагаемый метод внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора не ухудшает точность процесса копания и для любого процесса копания может быть получен неотрицательный результат. Наиболее эффективно введение управления при относительно небольшом числе итераций копания (не более 30), в этом случае выбранный метод управления в среднем дает улучшение скорректированного положения режущей кромки от значения без введения управления на 15...25%.

**Ключевые слова:** одноковшовый экскаватор, математическая модель, система управления, скользящее среднее, точное земледелие.

**Формат цитирования:** Лиморенко М.Е., Подчасов О.В., Подчасов Е.О., Терентьева А.Д. Повышение точности работ одноковшового экскаватора путем внесения корректировок в систему управления // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 6(88). С. 32-39. DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-32-39.

## IMPROVING THE OPERATION ACCURACY OF A POWER SHOVEL BY ADJUSTING ITS CONTROL SYSTEM

**MARIA YE. LIMORENKO**, Senior Lecturer<sup>1</sup>

E-mail: limorenkome@bmstu.ru

**OLEG V. PODCHASOV**, Head of Laboratory<sup>2</sup>

E-mail: podch@mail.ru

**YEVGENY O. PODCHASOV**, Assistant Professor<sup>1, 3</sup>

E-mail: podchasov@bmstu.ru

**ARINA D. TERENTIEVA**, Assistant Professor<sup>1, 3</sup>

E-mail: terentevaad@bmstu.ru

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya Str., 5, bld. 1, Moscow, 105005, Russian Federation

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov at the Russian Academy of Sciences; Maly Kharitonyevsky Pereulok, 4, Moscow, 101990, Russian Federation

The authors propose a method of adjusting the working mechanism control system for the previously developed mathematical model of the working mechanism of a Chetra EGP-230 power shovel, supplemented by dynamic characteristics in operation, which allows to evaluate the accuracy of the work performed taking into account cutting forces. As a method of making adjustments, adaptive control methods have been chosen, since only they can allow to actively influence the process of digging, taking account of continuously changing working conditions. The control process is considered for a flat model of the working mechanism without any considerations of a turntable, since adaptive control is introduced only when digging, in order to prevent excessive burial of the working mechanism bucket. Among all the adaptive control methods, the authors have chosen control methods for the moving average, since they include information on the last few measured parameters, which provides for the most efficient corrections. Several formulas have been considered by which corrections in the working mechanism control system can be calculated, and an accuracy control factor has been proposed for evaluating the effectiveness of the control operations. For these formulas, the proposed method of making adjustments has been tested in a number of cases: with different laws of distribution of the measured value; with different permissible deviations of the measured value; with the introduction of a systematic error of the measured value; and with changed amounts of measurements. The authors have also evaluated the control effectiveness according to the quality management method described in the GOST R50779 series. Basing on the experiments, the authors have shown that the proposed method of making adjustments in the working mechanism control system of a power shovel does not decrease the digging accuracy and a non-negative result can be obtained for any digging process. The introduction of control is most effective with a relatively small number of digging iterations (no more than 30); in this case, the selected control method, on the average, improves the adjusted position of the cutting edge by 15...25% as compared with the value obtained without introducing the control operations.

**Key words:** shovel excavator, mathematical model, automatic control system, moving average, precision farming

**For citation:** Limorenko M. Ye., Podchasov O.V., Podchasov Ye.O., Terentieva A.D. Improving the operation accuracy of a power shovel by adjusting its control system. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018; 6 (88): 32-39. (in Rus.). DOI: 10.26897/1728-7936-2018-6-32-39.

**Введение.** Для развития эффективного сельского хозяйства важно освоение методов ведения точного земледелия. Но, как известно [1], в точном земледелии есть ряд проблем как агротехнической, так и механико-технологической направленности. Для их решения нужно разрабатывать новые требования к технологиям, функциональным схемам и рабочим органам машин. Такой подход позволит эффективно воздействовать на факторы плодородия [2], что, в конечном счете, приведет к более эффективному ведению сельского хозяйства. Первостепенным фактором

плодородия, кроме того подверженным наиболее простому внешнему воздействию, является влажность почвы, что обеспечивается производством мелиоративных работ [3].

Для проведения таких работ зачастую применяются одноковшовые экскаваторы с гидроприводом, ввиду того что они являются одним из наиболее универсальных средств механизации труда.

Высокие требования к точности производства работ при мелиорации продиктованы существующим в России сводом правил. Отклонения отметок при разработ-

ке одноковшовыми экскаваторами допускаются не более 0,05 м. Увеличение выборки грунта, в свою очередь, не допускается ввиду того, что укладка труб должна производиться на грунт ненарушенной структуры [4]. Столь высокие требования зачастую не могут быть выполнены на существующем оборудовании.

В рамках обозначенной задачи важнейшей составной частью одноковшового экскаватора является система управления [5], которая позволяет оперативно оценивать функционирование систем экскаватора и составляющих подсистем и устройств, что, в свою очередь, позволяет более точно определять положение одноковшового экскаватора и прокладываемой траншеи, а также повышать точность копания при мелиоративных работах [6, 7].

Для повышения точности копания грунта необходимо разработать метод внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора.

**Цель работы** – разработка метода внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора для обеспечения необходимой точности производства работ.

**Материал и методы.** Исследования выполнены на математических моделях с применением пакета при-

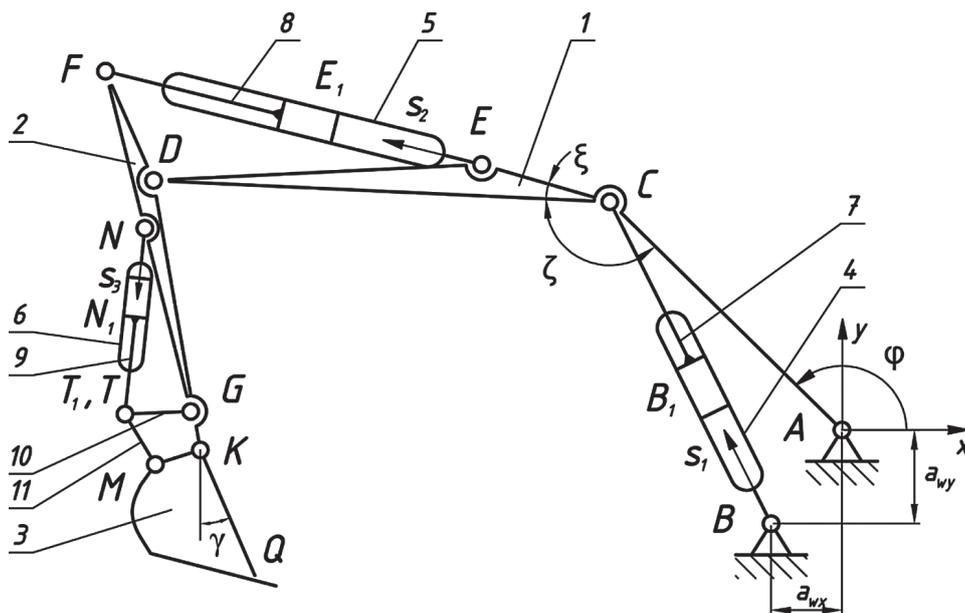
кладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB.

Для подбора оптимального метода повышения точности копания грунта применялось моделирование процесса копания и внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом одноковшового экскаватора в различных случаях смещения настроек измеряемой глубины копания.

**Результаты исследований.**

*Исследование возможностей применения различных моделей.* При исследовании повышения точности копания одноковшовым экскаватором особое внимание уделяется возможности применения методов адаптивного управления. Этот вид управления является наиболее рациональным [8-10], поскольку дает возможность активно воздействовать на ход процесса копания и способствует достижению высокого уровня качества в условиях неопределенности.

Процесс управления рассматривается для плоской модели рабочего механизма экскаватора (рис. 1) без учета поворотной платформы, поскольку только при копании разрабатываемой траншеи целесообразно введение адаптивного управления с целью предотвращения возможного заглупления ковша рабочего механизма экскаватора [1, 11].



**Рис. 1. Кинематическая схема рабочего механизма:**

1 – стрела; 2 – рукоять; 3 – ковш; 4, 5, 6 – гидроцилиндры; 7, 8, 9 – штоки гидроцилиндров; 10 – коромысло; 11 – тяга

**Fig. 1. Kinematic scheme of the working mechanism:**

1 – power shovel boom; 2 – handle; 3 – bucket; 4, 5, 6 – hydraulic cylinders; 7, 8, 9 – hydraulic cylinder rods; 10 – rocker arm; 11 – thrust rod

Задача повышения точности может быть конкретизирована, а затем и решена путем выбора рационального алгоритма управления.

Методы, основанные на управлении по скользящей средней, наиболее перспективны, поскольку включают в себя информацию о нескольких последних измерен-

ных значениях контролируемого параметра, что позволяет производить наиболее эффективную подналадку оборудования [12].

Для оценки эффективности управления вводится коэффициент увеличения точности  $\psi_p$ , представляющий собой отношение среднеквадратического отклоне-

ния процесса после введения корректировок в систему управления к среднеквадратическому отклонению процесса до введения корректировок:

$$\psi_T = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

Таким образом, введение корректировок в систему управления будет эффективным при значении коэффициента увеличения точности  $\psi_T$  менее единицы.

Предлагается несколько формул, по которым возможен расчет вносимых корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора с учетом коэффициентов поправки и вариаций скользящей средней:

- 1)  $k_1 \cdot \bar{x}_i$ ;
- 2)  $k_1 \cdot \bar{x}_{i-1} + k_2 \cdot (\bar{x}_{i-1} + \bar{x}_i)$ ;
- 3)  $k_1 \cdot \bar{x}_{i-1} + k_2 \cdot (\bar{x}_{i-1} + (\bar{x}_i + k_1 \cdot \bar{x}_{i-1}))$ ;
- 4)  $k_1 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1})$ ;
- 5)  $k_1 \cdot \bar{x}_{i-2} + k_2 \cdot (\bar{x}_{i-2} - \bar{x}_{i-1}) + k_3 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1} - \bar{x}_{i-2})$ ;
- 6)  $k_1 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}) + k_2 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1})^2$ ;
- 7)  $k_1 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}) + k_2 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1})^2 + k_3 \cdot (\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1})^3$ ,

где  $\bar{x}_i$  – скользящее среднее на  $i$ -м шаге процесса копания, получаемое по трем последним значениям отклонений;  $\bar{x}_{i-1}$  – скользящее среднее на  $(i-1)$ -м шаге процесса копания, получаемое по трем последним значениям отклонений;  $\bar{x}_{i-2}$  – скользящее среднее на  $(i-2)$ -м шаге процесса копания, получаемое по трем последним значениям отклонений;  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты поправки, причем  $\bar{x}_i$  – реализация отклонения по вертикальной координате от идеального положения дна траншеи на  $i$ -м шаге процесса копания.

В основе методики расчета лежит вычисление скользящей средней по трем последним значениям. То есть при вычислении первые три члена последовательности отклонений положения режущей кромки ковша остаются неизменными, стало быть  $\bar{x}_1 = x_1, \bar{x}_2 = x_2, \bar{x}_3 = x_3$ .

Для каждого  $i$ -го члена последовательности отклонений будут вычисляться следующим образом:

$\bar{x}_i = x_i - f(k_1, x_i)$ , где  $f(k_1, x_i)$  – формула для вычисления управления, в которую вместо значений  $\bar{x}_i, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_{i-2}$  будут подставлены соответствующие значения  $x_i', x_{i-1}', x_{i-2}'$ , вычисленные как среднее значение трех предыдущих членов [13]:

$$x_i' = \frac{x_{i-1} + x_{i-2} + x_{i-3}}{3}$$

В качестве структурных составляющих в формулах введены изменения средних. Решение задачи состоит в выборе значений  $k_1, k_2, k_3$ , подбираемых таким образом, чтобы коэффициент  $\psi_T$  был минимален, т.е. эффективность управления была наибольшей.

Регулятор внесения корректировок принимает решение о целесообразности введения корректировок в систему управления рабочим механизмом на основании предполагаемого рассчитанного системой следу-

ющего положения режущей кромки рабочего органа. Если невозможно введение корректировок, улучшающих процесс, то принимается решение о невнесении корректировок на этом шаге управления во избежание ухудшения процесса.

При этом система внесения корректировок корректирует подаваемые воздействия на гидропривод, что приводит к более точному положению режущей кромки рабочего органа внутри поля допуска на основании положений режущей кромки получаемой поверхности разрабатываемой траншеи в предыдущих итерациях копания. Однако измерение положения режущей кромки производится с использованием систем GPS-позиционирования на основе системы инерциальных блоков, с использованием трех осевых гироскопов и трех осевых акселерометров основных звеньев рабочего механизма одноковшового экскаватора (стрела, рукоять, ковш).

Ожидаемое следующее положение режущей кромки рабочего органа с учетом вносимых корректировок для улучшения процесса копания позволяет через математическую модель рабочего механизма рассчитать необходимые воздействия на гидроцилиндры системы рабочего механизма.

Чтобы доказать эффективность выбранного метода внесения корректировок, нужно исследовать действие этого метода в ряде случаев: при разных законах распределения измеряемой величины; при различном допусковом отклонении; при введении систематической погрешности; при изменении объема измерений, поскольку важно учесть разнообразные условия проведения работ: разные диапазоны, в которые может попадать режущая кромка, общее отклонение продольного профиля грунта и др. – для уверенности в универсальности предлагаемого метода.

Для проведения расчетов была разработана программа для ЭВМ «Расчет корректировок по скользящей средней», реализованная на языке программирования Delphi. На указанную программу получено авторское свидетельство [14].

*Исследование эффективности предлагаемого метода внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом для разных законов распределения.* Исследование проводится на математической модели случайной величины. Но существующие ГОСТ регламентируют методики управления качеством для конкретных законов распределения. Поэтому исследуется эффективность предлагаемого метода для разных законов распределения: нормального, Вейбулла, Рэлея. Эти законы распределения описаны в серии ГОСТ Р 50779 [15-17]. В графическом представлении результатов, помимо линий зависимости коэффициента увеличения точности при корректировке по скользящей средней по ГОСТ и по формуле, также введена еще линия коэффициента увеличения точности  $\psi_T = 1$ , которая позволяет легко визуально определить эффективность или неэффективность внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора в каждом конкретном случае. Выведена характерная диаграмма для формулы  $k_1 \cdot \bar{x}_i$  для нормального закона распределения при изменении количества измерений  $n$  (рис. 2).

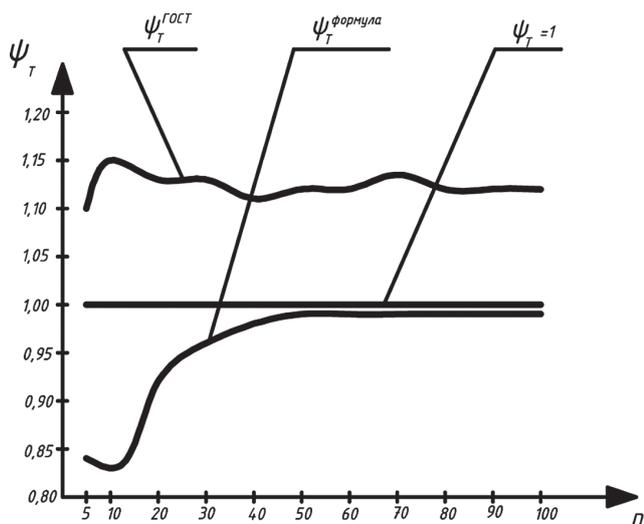


Рис. 2. Сравнение коэффициентов увеличения точности  $\psi_T$   
 Fig. 2. Comparison of the coefficients of accuracy increasing  $\psi_T$

Коэффициент увеличения точности  $\psi_T$ , представляющий собой отношение среднеквадратических от-

клонений управляемого и неуправляемого процессов, принимает значения по всем предлагаемым формулам в среднем  $\psi_T = 0,8 \dots 0,9$ , что говорит об уменьшении разброса положений режущей кромки ковша на 10...20%.

Внесение корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора с использованием предлагаемых формул для массива основных отклонений положения режущей кромки ковша от идеального положения продольного профиля дна траншеи дает положительный эффект внесения корректировок.

Исследование эффективности предлагаемого метода внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом при различном допуске отклонения продольного профиля. Исследована эффективность предлагаемого метода внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом при различном допуске отклонения продольного профиля. На первом этапе проводится исследование при смещении поля допуска постоянной величины (50 мм – регламентированное СП значение [4]) относительно нулевой линии с целью определения эффективности внесения корректировок при смещении настройки от идеального положения дна траншеи; на втором – эффективность при уменьшении величины поля допуска с целью выявления возможных путей повышения точности. Выведены характерные диаграммы для обоих экспериментов (рис. 3).

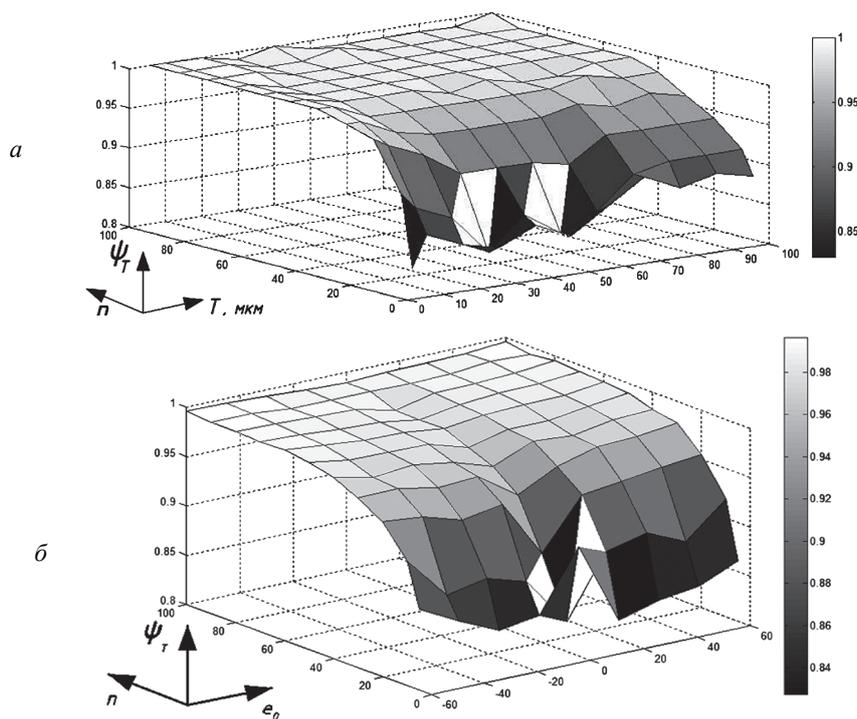


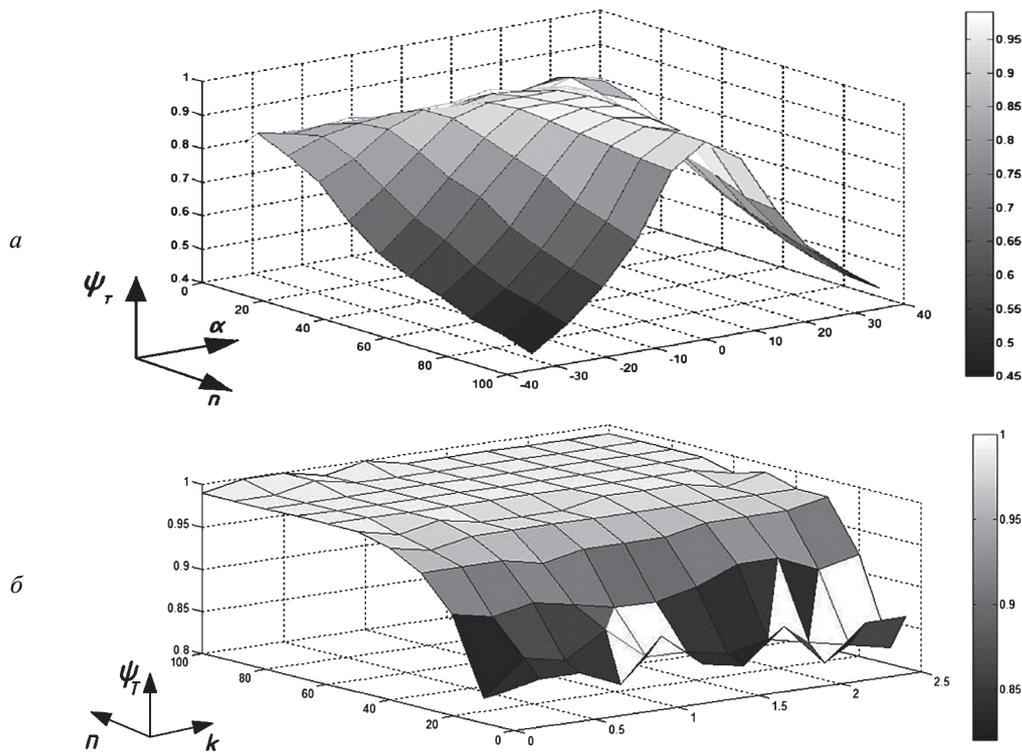
Рис. 3. Сравнение коэффициентов увеличения точности  $\psi_T$  при введении корректировки:  
 а – при смещении поля допуска постоянной величины; б – при уменьшении величины поля допуска постоянной величины при многократных измерениях отклонения положения кромки ковша;  
 $T$  – величина поля допуска,  $e_0$  – середина поля допуска

Fig. 3. Comparison of the coefficients of accuracy increasing  $\psi_T$  when introducing a correction:  
 а – when shifting the tolerance field of a constant value; б – when reducing the value of a constant value tolerance field with repeated measurements of the deviation of the bucket edge position,  
 $T$  – the value of the tolerance field,  $e_0$  – the middle of the tolerance field

Введение корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора с использованием предлагаемых формул в целом дает положительный эффект, изредка достигая нулевого эффекта внесения корректировок при коэффициенте увеличения точности  $\psi_t = 1$ , не ухудшая точность процесса копания. Наименьших значений коэффициент увеличения точности  $\psi_t$  достигает при количестве итераций копания не более десяти, принимая значения по всем предлагаемым формулам в среднем  $\psi_t = 0,8 \dots 0,9$ , что говорит об уменьшении отклонения скорректированного положения режущей кромки от теоретического на 10...20% по сравнению с отклонением положения, достигаемым без введения управления.

Исследование эффективности предлагаемого метода внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом при введении систематической погрешности. Необходимо доказать, что выбранный метод внесения корректировок будет также эффективен и в случае введения систематической погрешности, приближая условия проведения моделируемого эксперимента к реальным, где идеальная горизонтальная линия положения дна разрабатываемой траншеи может смещаться из-за неровностей поверхности грунта и многих других факторов.

Исследована эффективность выбранного метода при введении систематической погрешности, распределенной по линейному и периодическому законам. Выведены характерные диаграммы для обоих экспериментов (рис. 4).



**Рис. 4. Сравнение коэффициентов увеличения точности  $\psi_t$  при введении корректировки:**  
 а – систематическая составляющая изменяется по линейному закону; б – систематическая составляющая изменяется по периодическому закону, при многократных измерениях отклонения положения кромки ковша;  
 $\alpha$  – угол наклона прямой линии, задающей линейную погрешность,  
 $k$  – коэффициент, задающий периодическую погрешность

**Fig. 4. Comparison of the accuracy increasing coefficients  $\psi_t$  when making an adjustment:**  
 а – the systematic component varies linearly; б – the systematic component varies according to a periodic law, with repeated measurements of the deviation of the bucket edge position;  $\alpha$  is the inclination angle of the straight line determining the linear error,  $k$  is the coefficient determining the periodic error

При введении систематической составляющей, распределенной по линейному закону, выбранный метод внесения корректировок дает в среднем улучшение на 50%, а при введении систематической составляющей, распределенной по периодическому закону, выбранный метод внесения корректировок дает в среднем улучшение на 15...25%.

**Выводы**

1. Выбранный метод внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора не ухудшает точность процесса копания, и для любого процесса может быть получен коэффициент  $\psi_t$ , не превышающий 1, что свидетельствует об отсутствии перерегулирования.

2. Наименьших значений коэффициент увеличения точности  $\psi_T$  достигает при относительно небольшом количестве измерений (не более 30), по всем предлагаемым формулам в среднем  $\psi_T = 0,75 \dots 0,85$ , что говорит об уменьшении отклонения скорректированного положения режущей кромки от теоретического на 10...20% по сравнению с отклонением положения, достигаемым без введения управления.

3. Наибольшая эффективность внесения корректировок в систему управления рабочим механизмом экскаватора была получена с применением формулы  $k_1 \cdot \overline{x_{i-2}} + k_2 \cdot (\overline{x_{i-2}} - \overline{x_{i-1}}) + k_3 \cdot (\overline{x_i} - \overline{x_{i-1}} - \overline{x_{i-2}})$ , в среднем  $\psi_T = 0,70 \dots 0,75$ , но в связи с длительностью расчета программы она не может быть применена для решения поставленной задачи. Второй результат по эффективности был получен с применением формулы  $k_1 \cdot \overline{x_{i-1}} + k_2 \cdot (\overline{x_{i-1}} + \overline{x_i})$ , эффективность в среднем  $\psi_T = 0,80 \dots 0,85$ . Применение двух оставшихся формул  $k_1 \cdot \overline{x_i}$  и  $k_1 \cdot \overline{x_{i-1}} + k_2 \cdot (\overline{x_{i-1}} + (\overline{x_i} + k_1 \cdot \overline{x_{i-1}}))$  дает также положительные результаты, и эффективность в среднем  $\psi_T = 0,85 \dots 0,90$ .

### Библиографический список

1. Подчасов О.В., Подчасов Е.О., Терентьева А.Д. Оценка влияния динамических характеристик на точность работы одноковшового экскаватора при разработке участков точного земледелия // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 4. С. 26-32. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-26-32.
2. Личман Г.И., Беленков А.И. История развития и освоения точного (координатного) земледелия // Нивы Зауралья. 2014. № 9 (120). С. 69-71.
3. Чайка Е.А. Разработка опытного участка для низконапорного орошения стоками КРС / Инновационные технологии мелиорации земель сельскохозяйственного назначения: Межвузовский сборник трудов молодых ученых и специалистов. Новочеркасск, 2014. С. 19-22.
4. СП 100.13330.2011. Мелиоративные системы и сооружения. М.: Росстандарт, 2015. 146 с.
5. Баловнев В.И., Зеленин А.Н., Керов И.П. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 422 с.
6. Павлов В.П. Методология автоматизированного проектирования рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов. Дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2011. 349 с.
7. Шеховцова Д.А. Методика определения погрешности информационно-измерительных устройств для системы управления глубиной копания одноковшовым экскаватором // Вестник СибАДИ. 2014. № 3 (37). С. 34-39.
8. Щербаков В.С., Сухарев Р.Ю. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора. Омск: СибАДИ, 2011. 152 с.
9. Мещеряков В.А. Адаптивное управление рабочими процессами землеройно-транспортных машин: Дис. ... докт. техн. наук. Омск: СибАДИ, 2007. 304 с.
10. Лиморенко М.Е., Подчасов Е.О., Терентьева А.Д. Повышение точности автоматизированного контроля ответственных изделий // Инженерный

журнал: наука и инновации. 2017. № 6 (66). DOI: 10.18698/2308-6033-2017-6-1626.

11. Терентьева А.Д. Анализ точности перемещения рабочего органа одноковшового экскаватора // Теория механизмов и машин. 2016. Т. 14. № 4 (32). С. 217-228. DOI: 10.5862/ТММ.32.6.

12. Лиморенко А.Д., Шачнев Ю.А. Исследование возможности повышения точности обработки деталей за счёт применения алгоритма управления // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 11. DOI: 10.7463/1112.0483097.

13. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение, 1982. 184 с.

14. Расчет корректировок по скользящей средней: авторское свидетельство на ПрЭВМ № 2016663619 от 13.12.2016/А.Д. Терентьева; заявл. № 2016661227/69, 24.10.2016; опубл. 20.01.2017. Бюл. № 1.

15. ГОСТ Р 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. Введ. 2004-06-01. М.: Госстандарт России, 2004. 47 с.

16. ГОСТ Р 50779.27-2007 (МЭК 61649:1997) Статистические методы. Критерий согласия и доверительные интервалы для распределения Вейбулла. Введ. 2007-11-14. М.: Стандартиформ, 2008. 16 с.

17. ГОСТ Р ИСО 21747-2010 Статистические методы. Статистики пригодности и воспроизводимости процесса для количественных характеристик качества. Введ. 2010-11-12. М.: Стандартиформ, 2012. 28 с.

### References

1. Podchasov O.V., Podchasov Ye.O., Terentieva A.D. Otsenka vliyaniya dinamicheskikh kharakteristik na tochnost' raboty odnokovshovogo ekskavatora pri razrabotke uchastkov tochnogo zemledeliya [Estimation of the influence of dynamical characteristics on the precision of earthworks made by a shovel on the development of precision agriculture plots]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2018; 4: 26-32. (in Rus.) DOI: 10.26897/1728-7936-2018-4-26-32.
2. Lichman G.I., Belenkov A.I. Istoriya razvitiya tochnogo (koordinatnogo) zemledeliya [History of the development of precision (site-specific) farming]. *Nivi Zauralia*, 2014; 9 (120): 69-71. (in Rus.).
3. Chaika Ye.A. Razrabotka opytnogo uchastka dlya nizkonapornogo orosheniya stokami KRS [Development of a pilot site for low-pressure irrigation with cattle effluents]. *Innovatsionnie tehnologii melioratsii zemel selskohozyajstvennogo naznachenia. Mezhvuzovskiy sbornik trudov molodih uchenih i spetsialistov*. Novocherkassk, 2014: 19-22. (in Rus.).
4. SP 100.13330.2011. Meliorativnie sistemy i sooruzhenia [Reclamation systems and structures]. Moscow, Rosstandart, 2015: 146. (in Rus.).
5. Balovnev V.I., Zelenin A.N., Kerov I.P. Mashiny dlya zemlianykh rabot [Earth-moving machinery]. Moscow, Engineering, 1975: 422. (in Rus.).
6. Pavlov V.P. Metodologiya avtomatizirovannogo projektirovaniya rabocheho oborudovaniya odnokovshovykh

ekskavatorov [Methodology of computer-aided design of working equipment of shovels]. DSc (Eng) thesis. Krasnoyarsk, 2011: 349. (in Rus.).

7. Shekhovtseva D.A. Metodika opredeleniya pogreshnosti informatsionno-izmeritelnykh ustroystv dlya sistemy upravleniya glubinoi kopaniya odnokovshovym ekskavatorom [Methodology for determining the accuracy of information-measuring devices for the control system of deep digging shovels]. *Vestnik SibADI*, 2014; 3(37): 34-39. (in Rus.).

8. Shcherbakov V.S., Sukharev R.Yu. Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya rabochim organom tsepnogo transheynogo ekskavatora [Improving the control system of a chain trencher working element]. Omsk, SibADI, 2011: 152. (in Rus.).

9. Meshcheryakov V.A. Adaptivnoye upravleniye rabochimi protsessami zemleroino-transportnykh mashin [Adaptive workflow control of earthmovers] DSc (Eng) thesis. Omsk, SibADI, 2007: 304. (in Rus.).

10. Limorenko M.Ye., Podchasov Ye.O., Terentiev A.D. Povysheniye tochnosti avtomatizirovannogo kontrolya otvetstvennykh izdeliy [Increasing the accuracy of the automatic control of the main parts]. *Inzhenerniy Zhurnal: Nauka i Innovatsii*, 2017; 6 (66). DOI: 10.18698/2308-6033-2017-6-1626. (in Rus.).

11. Terentiev A.D. Analiz tochnosti peremeshcheniya rabocheho organa odnokovshovogo ekskavatora [Analyzing the movement accuracy of the working element of a power shovel]. *Teoriya mekhanizmov i mashin*, 2016; 14(4): 217-228. DOI: 10.5862/TMM.32.6. (in Rus.).

12. Limorenko A.D., Shachnev Yu.A. Issledovaniye vozmozhnosti povysheniya tochnosti obrabotki detaley za schet primeneniya algoritma upravleniya [Study of a possibility of improving the accuracy of machining parts through

the use of the control algorithm]. *Nauka i obrazovaniye: nauchnoye izdaniye MGTU im. N.E. Baumana*. 2012; 11. DOI: 10.7463/1112.0483097. (in Rus.)

13. Nevel'son M.S. Avtomaticheskoye upravleniye tochnost'yu obrabotki na metallorezhushchikh stankakh [Automatic control of machining accuracy on metal-cutting tools]. L., Mashinostroyeniye, 1982. 184 p. (in Rus.).

14. Terentiev A.D. Raschet korrektyrovok po skol'zyashchey sredney: avtorskoye svidetel'stvo na PrEVM No. 2016663619 of 13.12.2016 [Calculation of adjustments for the moving average: Copyright certificate on the computer No. 2016663619 of 13.12.2016], 2016. (in Rus.).

15. GOST R50779.21-2004 Statisticheskkiye metody. Pravila opredeleniya i metody rascheta statisticheskikh kharakteristik po vyborochnym dannym. Chast' 1. Normal'noye raspredeleniye [Statistical methods. The rules for determining and methods for calculating statistical characteristics for sample data. Part 1. Normal distribution]. Introduced on 2004-06-01. Moscow, Gosstandart Rossii, 2004: 47. (in Rus.).

16. GOST R50779.27-2007 (MEK 61649:1997) Statisticheskkiye metody. Kriteriy soglasiya i doveritel'nyye intervaly dlya raspredeleniya Veybulla [Statistical methods. The criterion of agreement and confidence intervals for the distribution of Weibull]. Introduced on 2007-11-14. Moscow, Standartinform, 2008: 16. (in Rus.).

17. GOST R ISO 21747-2010 Statisticheskkiye metody. Statistiki prigodnosti i vosproizvodimosti protsessa dlya kolichestvennykh kharakteristik kachestva [Statistical methods. Statistics of suitability and reproducibility of the process for quantitative quality characteristics]. Introduced on 2010-11-12. Moscow, Standartinform, 2012: 28. (in Rus.).

#### Критерии авторства

Лиморенко М.Е., Подчасов О.В., Подчасов Е.О., Терентьева А.Д. провели обобщение и написали рукопись. Лиморенко М.Е., Подчасов О.В., Подчасов Е.О., Терентьева А.Д. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 26.09.2018

#### Contribution

Limorenko M.Ye., Podchasov O.V., Podchasov Ye.O., Terentiev A.D. summarized the material and wrote the manuscript. Limorenko M.Ye., Podchasov O.V., Podchasov Ye.O., Terentiev A.D. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on September 26, 2018