Управление механизированными технологическими процессами возделывания зерновых культур

Геннадий Леонидович Утенков,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: utenkov1951@mail.ru;

Иван Петрович Добролюбов,
доктор технических наук, профессор

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

Реферат. Показали, что при возделывании зерновых культур в Сибири преимущественно используют экстенсивные технологии на фоне недостаточного технического обеспечения, что делает продукцию неконкурентоспособной. Дальнейшая интенсификация земледелия требует повышения точности выполнения технологических операций. Однако обеспеченность современной техникой остается основным лимитирующим фактором технологической модернизации земледелия. Выявили, что резервом роста эффективности в машинных технологиях возделывания зерновых культур может стать обработка почвы, на которую расходуется 30-40 процентов всех энергозатрат. (*Цель исследования*) Обосновать методологические принципы автоматического управления энергоемким процессом основной обработки почвы в агротехнологиях возделывания зерновых культур. (*Материалы и методы*) Использовали методы статистического анализа и синтеза технических средств управления. (*Результаты и обсуждение*) Подтвердили необходимость интеллектуализации сельскохозяйственного производства. Разработали систему автоматического управления режимами, которая относится к классу автоматических адаптивных систем с программным позиционным управлением на входе и обеспечивает нахождение машинно-тракторного агрегата в оптимальной зоне энергетических режимов. В качестве критерия качества системы позиционного управления приняли минимум динамической ошибки. Для ее измерения применили метрику махалонбисского типа – хемминговым расстоянием. Работу машинно-тракторного агрегата контролировали посредством силового и кинематического управления режимами работы двигателя на тракторах с гидрофицированной коробкой передач, двигатель которых форсирован газотурбонаддувом. Направили воздействие непосредственно на рейку топливного насоса или рычаг управления топливopодачей, на рычаг переключения скоростей коробки передач и на рычаги гидронавесной системы. (*Выводы*) Выявили случайный характер изменения тягового сопротивления машинно-тракторного агрегата из-за неоднородности почвенного покрова. Определили, что следствием этого стали повышенная энергоемкость, а также недостаточная эффективность применения встроенных информирующих систем о текущих энергетических режимах работы. Для контроля и управления неоднородностью почвы по ее твердости предложили новое техническое решение. Доказали, что разработанные и апробированные теоретические основы и технические средства автоматического управления энергоемкими технологическими процессами обработки почвы обеспечивают требуемые показатели качества.

Ключевые слова: зерновые культуры, интенсификация производства зерна, агротехнологии, обработка почвы, неоднородность почвы, энергоемкость, система автоматического управления; режимы работы машинно-тракторных агрегатов.

■ **Для цитирования:** Утенков Г.Л., Добролюбов И.П. Управление механизированными технологическими процессами возделывания зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №5. С. 26-32. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-5-26-32.

Controlling Mechanized Technological Processes of Grain Crop Cultivation

Gennadiy L. Utenkov,
Ph.D.(Eng.), key research engineer;

Ivan P. Dobrolyubov,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation

Abstract. The authors have proved that grain crops in Siberia are cultivated using primarily extensive technologies and inadequate technical support, which makes farm produce uncompetitive. Further intensification of crop cultivation requires increasing the accuracy of technological operations. However, the insufficient availability of modern machinery remains the main limiting factor in the technological modernization of agriculture. The study has revealed that further prospects for the efficiency growth in using mechanized technologies for cultivating grain crops are offered by soil cultivation, which consumes from 30 to 40 percent

of all energy costs. (*Research purpose*) is to justify the methodological principles of automatic controlling an energy-intensive process of tillage in agricultural technologies of grain cultivation. (*Materials and methods*) Use has been made of the methods of statistical analysis and synthesis of technical control means. (*Results and discussion*) The study has proved the necessity of the intellectualization of farm production. The authors have developed a system of automatic mode regulation belonging to the class of automatic adaptive systems with programmable positional control of input data and ensures that the machine-and-tractor unit is in the optimal range of energy modes. The minimum of dynamic error has been accepted as the quality criterion of the positional control system. To measure it, use has been made of Mahalanobis-type metric taking account of the Hamming distance. The operation of a machine-and-tractor unit has been controlled by power and kinematic regulation of the engine operating modes on tractors with a hydraulic gearbox and a gas-turbocharged engine. The effect was directed on the fuel pump rail or the fuel control lever, the gear shift lever, and the hydraulic system levers. (*Conclusions*) The study has revealed a random nature of the change in traction resistance of the machine-and-tractor unit caused by the heterogeneity of the soil cover. The authors have determined that this leads to increased energy intensity, as well as insufficient performance of built-in information systems indicating the current energy modes of operation of the machine-and-tractor unit operation. To control and regulate the soil heterogeneity by its hardness, a new technical solution has been proposed. The authors have proved that the developed and tested theoretical foundations and technical means of automatic control of energy-intensive technological processes of tillage ensure the required quality indicators. **Keywords:** cereals, intensification of grain production, agricultural technologies, soil tillage, heterogeneity, soil heterogeneity, energy intensity, automatic control system; operating modes of machine-and-tractor units.

For citation: Utenkov G.L., Dobrolyubov I.P. Upravlenie mekhanizirovannyimi tekhnologicheskimi protsessami vozdel'yvaniya zernovykh kul'tur [Controlling mechanized technological processes of grain crop cultivation]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N5. 26-32 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-5-26-32.

При возделывании зерновых культур в Сибири преимущественно используют экстенсивные технологии на фоне недостаточного технического обеспечения, что делает продукцию неконкурентоспособной [1]. Снижается темп роста урожайности [2]. В стране преобладают экстенсивные технологии [3]. А дальнейшая интенсификация земледелия, связанная с развитием биотехнологий, требует повышения точности выполнения технологических операций. Однако обеспеченность современной техникой остается основным лимитирующим фактором технологической модернизации земледелия [4]. Только 15% техники и технологий соответствуют конкурентному технологическому укладу. С позиции государства, инновационное обновление отстающих предприятий эффективнее, чем преуспевающих [5]. Резервом роста эффективности в машинных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур считается обработка почвы, на которую расходуется 30-40% всех энергозатрат [6].

Цель исследований – обосновать методологические принципы автоматического управления энергоемким процессом основной обработки почвы в агротехнологиях возделывания зерновых культур.

Материалы и методы. Использовали методы статистического анализа и синтеза технических средств управления.

Результаты и обсуждение. Развитие агропромышленного сектора связано с интеллектуальным сельским хозяйством, что обусловлено тремя объективными обстоятельствами [7]:

- традиционные, технологические и технические решения уже не могут обеспечить требуемый рост

производительности труда и качества продукции;

- концепция пооперационной оптимизации исчерпала себя, и нужны системные методологические решения создания техники;

- глобальная компьютеризация производства обязывает применять высокоавтоматизированные процессы.

Интеллектуальные машины и комплексы – это высокоавтоматизированные технические средства, которые оптимизируют свое внутреннее и внешнее состояние (расположение) по заданным программам обеспечения оптимальной производительности и требуемого качества работы в зависимости от параметров агрофона. Применение цифровых технологий позволяет экономить при производстве 1 т зерна до 30% финансовых средств [8]. Управление технологическими процессами затрагивает широкий круг разнообразных проблем – организационных, технических, финансовых, экономических [9]. Автоматизированные системы управления должны предоставлять оперативную и достоверную информацию о состоянии производства, необходимую для автоматической генерации ключевых показателей. В РФ нет стратегии развития информационных и цифровых технологий для сельскохозяйственного производства. Существующие локальные разработки автоматического контроля и управления машинно-тракторными агрегатами (МТА) и зерновыми комбайнами не связаны между собой и имеют серьезные недостатки. Разрабатываемая автоматизированная система управления МТА должна быть гибкой и функциональной, поскольку создавать специальные подсистемы для каждого типа орудия нерационально. Предлагается систему автоматическо-

го управления разрабатывать на 3 уровнях: на первом уровне осуществляется непосредственное управление процессом агрегата по реальным измеряемым параметрам и обратной связи; на втором уровне происходит объединение операций контроля управляемых систем агрегата; на третьем уровне проводят процедуры оптимизации [10].

Однако, чем больше система, тем выше должна быть ее организация и лучше управление [11]. Повышенное энергопотребление обусловлено нестационарностью технологических процессов, требующих резерва энергетических мощностей [12]. Установлено, что случайный характер действующих на мобильный агрегат возмущений приводит к колебанию момента сопротивления, что снижает развиваемую двигателем номинальную мощность на 20-30% [9]. Предлагается модель функционирования (контроль и автоматизация) агрегата представлять в виде динамической системы, а расчет ее параметров производить с использованием вероятностно-стохастических методов [13].

С одной стороны, проблему энергосбережения предлагают решать на основе статистических теорий, учитывающих неоднородные свойства почвы и дифференцированные нетрадиционные способы воздействия на нее [6]. При этом твердость служит обобщенным индикатором, характеризующим процессы, протекающие в почве [14]. С другой стороны, ее твердость имеет тесную корреляционную связь с размерными характеристиками разрыхленной почвы и тяговым сопротивлением почвообрабатывающих орудий [15, 16]. Мы предложили новое техническое решение по определению ее твердости, что позволяет учитывать неоднородность почвенного покрова [17].

При выполнении энергоемких технологических операций важно обеспечить максимально возможную производительность и топливную экономичность МТА с сохранением высокого качества работ. При этом используют энергонасыщенные МТА с гидрофицированной коробкой передач трактора и форсированным двигателем внутреннего сгорания (ДВС с газотурбонаддувом). Встроенные информирующие системы о текущих энергетических (скоростном и нагрузочном) режимах малоэффективны из-за того, что тяговое сопротивление МТА изменяется случайным образом (по проходу агрегата оно может измениться в 1,5-2 раза), и требуемое число воздействий на органы управления возрастет на 70-90%, что резко снижает реакцию тракториста на поступающие команды. Обеспечение экстремального автоматического управления энергетическими режимами затруднительно из-за значительной переменности тягового сопротивления МТА. Разработаны и обобщены алгоритмы управления МТА с учетом структуры почвы [18, 19].

Разработанная система автоматического управления режимами (САУР) относится к классу автомати-

ческих адаптивных систем с программным позиционным управлением на входе и обеспечивает нахождение МТА в оптимальной зоне энергетических режимов (рис. 1).

Рис. 1. Зона позиционирования на скоростной статической характеристике ДВС и плотности распределения вероятностей процессов: N_e – эффективная мощность ДВС, кВт; $\Pi_{\text{наг}}$ – параметр нагрузки ДВС; n – частота вращения коленчатого вала ДВС, (т.е. среднее значение угловой скорости за период оборота) (индексы «Н» и «В» отражают нижний и верхний уровни, рад/с; f_n – плотность распределения случайной величины x (частоты вращения коленчатого вала ДВС, n); f_N (f_{Π}) – плотность распределения нагрузки на ДВС; f_N^{δ} (f_{Π}^{δ}) – плотность распределения погрешности измерения параметра нагрузки (N - Π) и f_n^{δ} частоты вращения коленчатого вала ДВС, n

Критерием качества системы позиционного управления считается минимум динамической ошибки позиционирования, мерой которой может служить расстояние между фактическим и программным положением объекта управления, определяемое метрикой махалонобисского типа, в частности хеммингова расстояния.

В разработанной САУР управление режимами работы МТА на входе осуществляется путем силового и кинематического воздействия на двигатель. Проще всего его можно реализовать на тракторах с гидрофицированной коробкой передач, двигатель которых форсирован газотурбонаддувом. В этом случае воздействуют непосредственно на рейку топливного на-

соса или рычаг управления топливоподачей, на рычаг переключения скоростей коробки передач и на рычаги гидронавесной системы. В качестве параметра, характеризующего нагрузочный режим (Π), можно использовать давление наддува P_k или частоту вращения ротора турбокомпрессора, так как они связаны с эффективной мощностью N_e ДВС соотношениями:

$$N_e = k_{\Pi} P_k \omega_d;$$

$$\tilde{P}_k = (\tilde{\omega}_T - \Theta_B \tilde{\omega}_d) / k_B,$$

где N_e – эффективная мощность ДВС, кВт;

P_k – давление наддува, кПа;

k_{Π} , k_B и Θ_B – конструктивные постоянные системы турбонаддува;

ω_d – угловая скорость двигателя, рад/с;

$\tilde{\omega}_d, \tilde{\omega}_T$ – относительные приращения угловых скоростей двигателя ω_d и ротора турбокомпрессора ω_T к их значениям ω_d^* и ω_T^* :

$$\tilde{\omega}_d = \Delta \omega_d / \omega_d^* = (\omega_d - \omega_d^*) / \omega_d^*;$$

$$\tilde{\omega}_T = \Delta \omega_T / \omega_T^* = (\omega_T - \omega_T^*) / \omega_T^*.$$

Обозначим плотность распределения случайной величины x (параметра нагрузки Π или ω_d) f_x . Тогда вероятность нахождения ДВС в оптимальной зоне позиционирования характеризуется зависимостью для Π и ω_d (рис. 1):

$$f_{O.X} = \int_{C_H}^{C_B} f(x) dx, \text{ а вне зоны:}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{B.X} &= \int_{C_H}^{C_B} f(x) dx, \\ f_{H.X} &= \int_{-\infty}^{C_H} f(x) dx, \end{aligned} \right\}$$

где в качестве x может выступать параметр нагрузки Π или угловая скорость коленчатого вала ДВС ω_d ; C_H , C_B – нижняя и верхняя границы зоны величины x (Π_H , Π_B , или $\omega_{d.H}$, $\omega_{d.B}$).

Так как элементы САУР (измерительно-преобразовательный, усилительный, исполнительный и др.) имеют погрешность измерения и преобразования δ_x величины x (параметра Π – δ_{Π} и величины ω_d – δ_{ω}), то попадание в зону обеспечивается с некоторой неопределенностью.

Можно предположить, что величины Π и ω_d , а также δ_{Π} и δ_{ω} в вероятностном смысле независимы. А результат попадания в оптимальную зону описывается композицией: плотности распределения f_x , то есть $f(\Pi)$ или $f(\omega_d)$; величины x (Π или ω_d) и плотности распределения погрешности $\phi(\delta_x)$ измерения (и управления) δ_x (δ_{Π} и δ_{ω}) величины x (Π или ω_d).

На практике для Π и ω_d выполняются условия: $C_B - C_H > \delta_{x.max}$. Поэтому вероятность ошибки первого рода (принятие режима оптимальной нагрузки за режим выхода из зоны) равна:

$$P_{\alpha.x} = \int_0^{C_B - C_H} \left[\int_{C_B - \delta_x}^{C_B} f(x) dx \right] \phi(\delta_x) d\delta_x + \int_{-(C_B - C_H)}^0 \left[\int_{C_H - \delta_x}^{C_H} f(x) dx \right] \phi(\delta_x) d\delta_x.$$

Вероятность ошибки второго рода (принятие режима нахождения вне зоны оптимального режима) равна (для Π и ω_d):

$$P_{\beta.x} = \int_0^{C_B - C_H} \left[\int_{C_H - \delta_x}^{C_H} f(x) dx \right] \phi(\delta_x) d\delta_x + \int_{-(C_B - C_H)}^0 \left[\int_{C_B - \delta_x}^{C_B} f(x) dx \right] \phi(\delta_x) d\delta_x.$$

В силу случайного характера изменения нагрузки МТА и влияния множества факторов на это изменение можно полагать, что процесс нагрузки подчиняется нормальному закону распределения вероятностей. Это справедливо и для параметра нагрузки, функционально связанного со степенью нагрузки. Погрешности измерения и преобразования Π и ω_d также можно считать распределенными по нормальному закону.

Рассмотрим случай, когда средние значения Π и ω_d совпадают с серединой оптимальной зоны и с их номинальными значениями (вследствие симметричности законов распределения и границ зоны относительно ее середины полученные результаты можно распространить при нахождении дизеля в любой точке зоны). При этом считаем, что систематические погрешности измерения и преобразования величины x (Π или ω_d) устранены. Введем обозначения, справедливые как для Π , так и для ω_d :

$$\eta = (C_B - C_H) / 2\sigma_x;$$

$$\eta_{\delta} = 6\sigma_{\delta_x} / (C_B - C_H);$$

$$\eta_x = 3\sigma_{\delta_x} / \sigma_x,$$

где σ и σ_{δ} – средние квадратические отклонения величины x и погрешности δ_x .

Тогда для Π и ω_d выражения вероятностей $P_{\alpha.x}$ и $P_{\beta.x}$ примут вид:

$$\left. \begin{aligned} P_{\alpha.x} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{6\eta/\eta_x} e^{-\delta_x^2/2} d\delta_x \int_{\eta - (\delta_x \eta_x / 3)}^{\eta} e^{-x^2/2} dx, \\ P_{\beta.x} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{6\eta/\eta_x} e^{-\delta_x^2/2} d\delta_x \int_{-\eta - (\delta_x \eta_x / 3)}^{-\eta} e^{-x^2/2} dx. \end{aligned} \right\}$$

Рассмотрим функциональную схему разработанной САУР (рис. 2). Система содержит три независимых контура управления: топливоподачей, переключением передач, положением рабочих органов сельхозмашин. Поскольку параметры, адекватно отражающие степень нагрузки, функционально связаны с N_e , то изменяемые параметры нагрузки и скорости имеют аналогичную зону. Контур управления замыкается только при выходе за пределы зоны скоростной характеристики ДВС (заштрихованной на рис. 1), где в качестве

Рис. 2. Оптимальная зона управления энергетическими режимами МТА (а) и упрощенная функциональная схема САУР (б): Д – двигатель; ТХД – тахометр двигателя; ДФ₁ – дифференциатор dP/dn ; ДФ₂ – дифференциатор d^2P/d^2n ; СУ – сравнивающее устройство; ИП – измеритель параметра нагрузки $P(t)$; ЗУ_ч и ЗУ_н – запоминающие устройства, соответственно, частоты вращения двигателя и параметра нагрузки; СВ – схемы выбора команды включения; ФПТ, ФПП и ФПР – функциональные преобразователи сигналов, соответственно, топливоподдачи, переключения передач и положения рабочих органов; ЭД – электродвигатели исполнительных устройств; ПМ – передаточные механизмы исполнительных устройств; $P_n, P_{п}, P_r$ – рычаги управления соответственно топливоподдачей, переключением передач и гидравлической системой; РТН – рейка топливного насоса; КП – коробка передач; ГНС – гидравлическая система; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – резисторы

Fig. 2. Optimal control zone of energy modes of a machine-and-tractor unit (a) and simplified functional scheme of SAMR (b): Д – engine; ТХД – engine tachometer; ДФ₁ – differentiator dP/dn ; ДФ₂ – differentiator d^2P/d^2n ; СУ – comparing device; ИП – load parameter meter $P(t)$; ЗУ_ч and ЗУ_н – storage devices of the engine speed and load parameters, respectively; СВ – circuit selection of the switching command; ФПТ, ФПП and ФПР – functional signal converters of fuel supply, gear shift, and position of working elements, respectively; ЭД – electric motor actuators; ПМ – transfer mechanism actuators; $P_n, P_{п}, P_r$ – control levers of fuel supply, gear shift, and hydraulic system, respectively; ГНС – fuel pump rail; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – resistors

параметра P использовано давление наддува P_k .

Статические скоростные характеристики ДВС по мощности и расходу топлива имеют экстремумы. Поэтому при нахождении МТА внутри зоны и при достаточно продолжительном участке с незначительной вариабельностью тягового сопротивления существует дополнительная возможность повышения производительности МТА за счет прогнозирования нагрузки и оптимизации управления с помощью предсказывающих устройств – экстраполяторов. Они позволяют определить значение сигнала на выходе МТА, после поступления на его вход управляющего или возмущающего воздействия до того, как это значение фактически будет достигнуто, а также вычислить оптимальные значения управляющих воздействий. Выходные сигналы таких экстраполяторов создают необходимую коррекцию управляющего устройства

(УУ) и позволяют существенно улучшить качество системы управления.

Рассмотрим частный случай, когда конечное состояние МТА может характеризоваться значением только одной из обобщенных координат P или ω_d : $y_1(t_k) = y(t_k)$. Экстраполятор определяет текущую оценку $y(t_k, t)$ конечного значения выходной координаты $y(t)$. Если измеряется возмущающее воздействие, то может быть применен экстраполятор, определяющий текущую оценку $\xi(t_k, t)$ его конечного значения координаты $\xi(t)$.

Принцип действия САУР с предсказывающим блоком (экстраполятором) состоит в следующем (рис. 3).

Рис. 3. Функциональная схема САУР с предсказывающим блоком (экстраполятором) и оптимизатором

Fig. 3. Functional scheme of SAMR with a predictive block (extrapolator) and an optimizer

При появлении существенных возмущающих воздействий (резком изменении нагрузки) экстраполятор вычисляет значение $y_3(t)$, которое соответствует заданному моменту t_k . При поступлении команды из экстраполятора, например после второго измерения $y(t)$, на управляемый электронный переключатель Π_1 для установки его во вторую позицию экстраполятор вводит значение $y_3(t)$ на второй вход схемы сравнения CC_1 , на первый вход которой подается сигнал с выхода задающего устройства $y_3(t)$. Сигнал рассогласования $e_y(t) = y_3(t) - y(t)$ с выхода CC_1 подается на УУ, которое вырабатывает значение и знак управляющего воздействия $U(t)$, поступающего на объект автоматического управления с исполнительного устройства. При достижении $y(t) - y_3(t) < \Delta_{удоп}$, где $\Delta_{удоп}$ – допустимое значение отклонения, с экстраполятора подается команда на установку переключателя в первую позицию. При этом на второй вход схемы сравнения CC_1 поступает сигнал управляемой переменной $y(t)$. Система управления работает в обычном режиме.

Выводы. Установили, что высокая энергоёмкость технологических процессов обусловлена неоднородностью почвенного покрова. Применение встроенных информирующих систем о текущих энергетических (скоростном и нагрузочном) режимах работы МТА малоэффективны из-за того, что тяговое сопротивление МТА изменяется случайным образом. Для контроля и управления неоднородностью почвы по ее твердости предложили новое техническое решение. Разработанные и апробированные теоретические основы и технические средства автоматического управления энергоёмкими технологическими процессами обработки почвы обеспечивают требуемые показатели качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стадник А.Т., Кабаков В.М., Кабакова О.Г. Техническая оснащенность сельскохозяйственного производства и пути ее решения // *Вестник НГАУ*. 2018. №1(46). С. 166-173.
2. Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О. Метод оценки параметров машинных технологий возделывания зерновых культур // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2017. №6. С. 22-27.
3. Кирюшин В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // *Земледелие*. 2019. №3. С. 3-7.
4. Кирюшин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // *Земледелие*. 2015. №6. С. 6-10.
5. Дасковский В. Б., Киселев В. Б. Проблемы интенсификации экономики и экономического роста // *Экономика*. 2017. №8. С. 28-46.
6. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс. 2008. 266 с.
7. Жалнин Э.В., Годжаев З.А., Флоренцев С.Н. Концептуальные принципы интеллектуальных сельскохозяйственных машин на примере зерноуборочного комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №6. С. 9-16.
8. Федоренко В.Ю. Цифровизация сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2018. №6. С. 2-8.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Лонин С.Э., Алексеев И.С. Универсальная автоматизированная система управления машинно-тракторными агрегатами // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2018. №3. С. 10-14.
10. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С. Управление сельскохозяйственными мобильными агрегатами с использованием навигационной системы ГЛОНАС/GPS // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №3. С. 15-19.
11. Баутин В.М., Панфилов В.А. Парадигма развития технологий АПК // *Экономика сельского хозяйства России*. 2017. №6. С.18-31.
12. Миндрин А. Энергетический анализ в сельском хозяйстве // *АПК: экономика, управление*. 2008. №9. С. 2-9.
13. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Гончаров Н.Т., Афонина И.И., Алексеев И.С., Лонин С.Э. Автоматизированные системы управления для оптимизации работы МТА // *Сельский механизатор*. 2017. №7. С. 14-16.
14. Медведев В.В. Твердость и твердограммы в исследованиях по обработке почвы // *Почвоведение*. 2009. №3. С. 325-336.
15. Горохов П.В. Некоторые аспекты понятия «твердость почвы» применительно к исследованию процесса рыхления // *Почвоведение*. 1990. №2. С. 56-67.
16. Огрызков Е.П. Оценка сопротивления почв по их твердости // *Тракторы и сельхозмашины*. 2004. №3. С. 14-15.
17. Utenkov G.L., Dobrolyubov I.P. Improvement of technological processes and improving the quality of tillage in Siberia. *Journal of natural history. Agricultural sciences*. 2016. №4. 4-7.
18. Добролюбов И.П., Утенков Г.Л. Рациональные алгоритмы управления МТА // *Тракторы и сельхозмашины*. 2007. №10. С. 9-11.
19. Утенков Г.Л., Добролюбов И.П. Моделирование рабочих процессов гибких автоматизированных технологических комплексов почвообработки. Новосибирск: СФНЦА РАН, НГАУ. 2018. 204 с.

REFERENCES

1. Stadnik A.T., Kabakov V.M., Kabakova O.G. Tekhnicheskaya osnashchennost' sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i puti ee resheniya [Technical equipment of farm production and ways of its implementation]. *Vestnik NGAU*. 2018. 1(46). 166-173 (In Russian).
2. Utenkov G.L., Rapoport E.O. Metod otsenki parametrov mashinnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur [Method of estimating the parameters of mechanized technologies of grain crop cultivation]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2017. 6. 22-27 (In Russian).
3. Kiryushin V.I. Aktual'nye problemy i protivorechiya razvitiya zemledeliya [Acute problems and contradictions of agricultural development]. *Zemledeliye*. 2019. 3. 3-7 (In Russian).
4. Kiryushin V.I. Tekhnologicheskaya modernizatsiya zemledeliya Rossii: predposylki i usloviya [Technological modernization of agriculture in Russia: prerequisites and conditions]. *Zemledeliye*. 2015. 6. 6-10 (In Russian).
5. Daskovskiy V.B., Kiselev V.B. Problemy intensifikatsii ekonomiki i ekonomicheskogo rosta [Problems of economy intensification and economic growth]. *Ekonomika*. 2017. 8. 28-46 (In Russian).
6. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv [Physical fundamentals of soil mechanics]. Kiev: Feniks. 2008. 266 (In Russian).
7. Zhalnin E.V., Godzhaev Z.A., Florentsev S.N. Kontseptual'nye printsipy intellektual'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin na primere zernouborochnogo kombaina [Conceptual principles of intelligent agricultural machines as exemplified by a combine harvester]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. 6. 9-16 (In Russian).
8. Fedorenko V.Yu. Tsifrovizatsiya sel'skogo khozyaystva [Digitalization of agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. 6. 2-8 (In Russian).
9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Lonin S.E., Alekseev I.S. Universal'naya avtomatizirovannaya sistema upravleniya mashinno-traktornymi agregatami [Universal automated control system of machine-tractor units]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2018. 3. 10-14 (In Russian).
10. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S. Upravlenie sel'skokhozyaystvennymi mobil'nymi agregatami s ispol'zovaniem navigatsionnoy sistemy GLONAS/GPS [Controlling the operation of agricultural mobile units using the navigation system GLONAS/GPS]. *Sel'skokhozyaystvennyye ma-*

shiny i tekhnologii. 2015. 3. 15-19 (In Russian).

11. Bautin V.M., Panfilov V.A. Paradigma razvitiya tekhnologiy APK [Paradigm of the development of farm technologies], *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2017. 6. 8-31 (In Russian).

12. Mindrin A. Energeticheskiy analiz v sel'skom khozyaystve [Energy analysis in agriculture]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2008. 9. 2-9 (In Russian)

13. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Goncharov N.T., Afonina I.I., Alekseev I.S., Lonin S.E. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dlya optimizatsii raboty MTA [Automated control systems used to optimize the operation of a machine-and-tractor unit] // *Sel'skiy mekhanizator*. 2017. 7. 14-16 (In Russian)

14. Medvedev V.V. Tverdosť i tverdogrammy v issledovaniyakh po obrabotke pochvy [Hardness and its test diagrams used in research on soil tillage]. *Pochvovedeniye*. 2009. 3. 325-336 (In Russian).

15. Gorokhov P.V. Nekotorye aspekty ponyatiya "tverdosť pochvy" primenitel'no k issledovaniyu protsessov rykhleniya [Some aspects of the "soil hardness" concept relating to the study of soil loosening]. *Pochvovedenie*. 1990. 2. 56-67 (In Russian).

16. Ogryzkov E.P. Otsenka soprotivleniya pochv po ikh tverdosti [Evaluating the resistance of soils according to their hardness]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2004. 3. 14-15 (In Russian).

17. Utenkov G.L., Dobrolyubov I.P. Improvement of technological processes and improving the quality of tillage in Siberia. *Journal of natural history. Agricultural sciences*. 2016. 4. 4-7 (In English).

18. Dobrolyubov I.P., Utenkov G.L. Ratsional'nye algoritmy upravleniya MTA [Rational algorithms of the MTU control]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2007. 10. 9-11 (In Russian).

19. Utenkov G.L., Dobrolyubov I.P. Modelirovanie rabochikh protsessov gibkikh avtomatizirovannykh tekhnologicheskikh kompleksov pochvoobrabotki [Modeling of operation processes of flexible automated technological units for soil tillage]. Novosibirsk: SFNTsA RAN, NGAU. 2018. 204 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 05.09.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 05.09.2019

Статья принята к публикации 21.10.2019
The paper was accepted
for publication on 21.10.2019