**Д. А. Соловьев, Г. Н. Камышова, С. А. Макаров, Н. Н. Терехова,
С. М. Бакиров**

Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, Саратов,
Российская Федерация

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЙРОУПРАВЛЕНИЯ

Цель: исследование направлений повышения эффективности работы дождевальных машин кругового действия на основе моделей нейросетевого управления. **Материалы и методы.** Исследования и сбор полевых данных проводились в Энгельсском районе Саратовской области. Объект исследований – дождевальные машины кругового действия. Большинство дождевальных машин кругового действия используют контроллеры типа ВКЛ/ВЫКЛ. Эти контроллеры не могут дать оптимальных результатов для разных временных задержек, разных системных параметров и внешних воздействий. В качестве методов применены современные методы интеллектуального анализа данных, а именно методы нейроуправления динамическими объектами. **Результаты.** В результате исследований выявлено, что традиционные подходы, основанные только на физическом моделировании технических процессов и связей, зачастую затрудняют поиск эффективных решений. Интеллектуальное управление оросительной техникой необходимо для максимальной эффективности и производительности. Предложен подход, основанный на модели интеллектуального анализа данных, а именно управление дождевальной машиной с использованием нейроконтроллера. **Выводы.** Предложен алгоритм нейроуправления скоростью (нейроконтроллер), минимизирующий отклонение фактических значений поливных норм от заданных, возникающее под влиянием эксплуатационных, стохастических факторов, до 1–3 %, и способы его внедрения в системы управления для повышения эффективности управления существующей техникой и при разработке современных дождевальных машин. Предложенный контроллер на основе искусственной нейронной сети создается с использованием MATLAB. Основным параметром моделирования выступает скорость. Совершенствование дождевальной техники на основе интеллектуальных методов управления – новая тенденция повышения эффективности российской дождевальной техники.

Ключевые слова: интеллектуализация; нейроуправление; модель; орошение; повышение эффективности; дождевальная машина.

**D. A. Solovyev, G. N. Kamyshova, S. A. Makarov, N. N. Terekhova,
S. M. Bakirov**

Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

SPRINKLING TECHNIQUE ADVANCEMENT BY NEUROCONTROL METHODS

Purpose: of ways to improve operational efficiency of center-pivot sprinkling machines on models of neural network control. **Materials and methods.** Research and field data collection were carried out in Engels district Saratov region. The object of research is center-pivot sprinkling machines. Most center-pivot sprinklers use ON/OFF controllers. These con-

trollers cannot provide optimal results for different time delays, different system parameters and external influences. Modern methods of intelligent data analysis are applied, namely, methods of neurocontrol of dynamic objects. **Results.** As a result of research, it was found that traditional approaches based only on physical modeling of technical processes and connections often complicate the search for effective solutions. Intelligent control of irrigation technology is essential for maximum efficiency and productivity. An approach based on intelligent data analyses model is proposed, namely, the control of a sprinkler machine using a neural controller. **Conclusions.** The algorithm for neural control by speed (neural controller) is proposed, which minimizes the deviation of the actual values of irrigation rates from the specified ones, arising under the influence of operational, stochastic factors, up to 1–3 %, and methods of its implementation into control systems to improve the efficiency of control of existing equipment and in the development of modern sprinkler machines. The proposed controller based on an artificial neural network is created using MATLAB. The main parameter of modeling is speed. Improving sprinkler equipment based on intelligent control methods is a new trend in increasing the efficiency of Russian sprinkler equipment.

Key words: intellectualization; neural control; model; irrigation; efficiency improvement; sprinkler.

Введение. В структуре российской поливной техники 72,6 % приходится на российские машины и 27,6 % на импортную технику [1], причем доля импортной техники неуклонно растет. В зарубежных разработках прослеживаются явные тенденции развития дождевальной техники в направлении автоматизации, роботизации и интеллектуализации. Совершенствование систем управления (СУ) дождевальными машинами (ДМ) российского производства имеет огромный потенциал роста, так как существующие системы значительно отстают от зарубежных аналогов [2]. Несмотря на то, что российскими учеными ведутся разработки по автоматизации систем полива в целом и отдельных его компонентов, необходимо проведение исследований с привлечением огромного потенциала инструментария искусственного интеллекта.

Материалы и методы. ДМ являются сложными техническими объектами. Поведение ДМ описывается вектором значений характеристических признаков каждой его системы с учетом влияния внешних факторов. Поэтому задача управления такими объектами представляет собой сложную задачу контроля и диагностики при условии наличия большого объема сложно формализуемых параметров и необходимости принятия решений в режиме реального времени.

Математическую модель такой системы можно представить в виде функциональной зависимости между переменными текущих состояний ДМ $X(t)$, внешних воздействий окружающей среды на ДМ $Z(t)$, управляющих воздействий на ДМ $U(t)$ и собственно выходного сигнала $Y(t)$ (отклика системы на эти воздействия) в определенный момент времени t :

$$Y(t) = F(X(t), Z(t), U(t)). \quad (1)$$

К числу ключевых характеристик ДМ можно отнести величину поливной нормы, которая должна соответствовать агротехническим требованиям и, помимо потери урожайности, при недостаточном или избыточном увлажнении влечет за собой ухудшение водно-физических и агрохимических свойств почв (ирригационную эрозию). Она зависит от многих внешних воздействий окружающей среды ($Z(t)$), к которым можно отнести, например, конструктивные (водопроводящий пояс, насадки) и эксплуатационные параметры (погодные условия, характеристика почв и рельефа), влияние которых не равнозначно, а также от управляющих воздействий $U(t)$. Поэтому в качестве выходного сигнала $Y(t)$ представляется целесообразным рассматривать именно величину поливной нормы.

В нашей предыдущей работе [3] было показано, что для широкозахватных ДМ кругового действия фактором ограничения при задании нормы полива является скорость движения машины. Поэтому необходима постоянная корректировка эксплуатационных режимов работы машины «вручную», что, несомненно, будет вносить свою погрешность в работу. На основании вышесказанного функциональная зависимость примет вид:

$$m(t) = F(V(t)), \quad (2)$$

где $m(t)$ – величина поливной нормы;

$V(t)$ – управляющее воздействие, которым в нашем случае выступает скорость.

Кажущаяся простота функциональной зависимости не должна вво-

дить в заблуждение, так как влияние внешних воздействий будет учтено в величине управляющего воздействия. По сути дела, $V(t) = G(Z(t), X(t))$.

Перед нами стоит задача моделирования динамической многокомпонентной системы с нелинейными зависимостями и необходимостью учета внешних стохастических факторов и управления ею. Классическое физическое или математическое моделирование для учета всех факторов потребовало бы значительных затрат на проведение экспериментов, что в свою очередь не могло гарантировать требуемой точности, так как любое изменение хотя бы одного из компонентов системы связей «пространство – ОУ», например, внесение незначительных изменений в конструкцию ДМ, влечет за собой необходимость повторных исследований. Справиться с такой задачей возможно только с применением современных методов и моделей интеллектуального управления, а именно управления на основе искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети рассматриваются как мощный инструмент для создания интеллектуальных СУ. Они могут самостоятельно «изучать» статические и динамические свойства управляемого объекта на основе результатов измерений, производившихся в прошлом, а затем действовать таким образом, чтобы принять лучшее решение при неизвестном состоянии внешней среды [4]. Нейроуправление – это управление, в котором используется архитектура нейронных сетей и их способность к обучению. Искусственные нейронные сети можно использовать в СУ как: нейроконтроллеры, представляющие собой нелинейные многопараметрические ПИД-регуляторы (пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы) [5, 6]; нейроэмуляторы, которые моделируют общее динамическое поведение объекта управления или описывают его определенные не поддающиеся классическому моделированию характеристики [7]; адаптивные фильтры. Нейросетевые методы в управлении орошением широко используются зарубежными учеными для оптимизации орошения [8–10].

Для применения методов нейроуправления ключевым фактором является наличие данных. Для сбора данных были проведены экспериментальные исследования в Энгельсском районе Саратовской области на базе УНПО «Поволжье» Саратовского государственного аграрного университета. Почвенный покров представлен темно-каштановыми почвами, по климатическим условиям данные территории характеризуются как умеренно континентальные. Объект исследований – ДМ «Каскад». ДМ оборудована GPS-трекерами, и данные в режиме реального времени отображаются в цифровой платформе для управления агробизнесом «Агросигнал» (рисунок 1).

Результаты и обсуждение. Анализ фактических скоростей движения ДМ в режиме реального времени показал их значительные отклонения в диапазоне 8–13 % от заданной скорости движения, что ведет к отклонениям норм полива на 7,4–11,0 % от заданных.

Нами предлагается следующий алгоритм нейроуправления скоростью $V(t)$ для достижения необходимых величин поливных норм. На вход системы подается сигнал текущего значения скорости, и вычисляется эталонный сигнал. Соответствующие массивы входных и выходных данных регулятора используются для синтеза нейронной сети с целью нахождения значения управляющего воздействия, устанавливающего необходимую величину поливных норм $m(t)$. Данная информация поступает в СУ ДМ для генерации оптимального управляющего воздействия.

Концептуальная схема реализации алгоритма в СУ поливной нормой на основе искусственной нейронной сети представлена на рисунке 2. Выбрана схема нейроуправления с нейроэмулятором и контроллером [11]. Здесь r – это случайные воздействия; u – управляющее воздействие, которым в нашем случае выступает скорость; y – выход сети, т. е. поливная норма; $\hat{y}$ – реакция нейроэмулятора, а e и $\hat{e}$ – ошибка управления и реакция соответственно.

Рисунок 1 – Окно программы с треком движения и графиком скорости дождевальная машины

r – случайные воздействия; u – управляющее воздействие; y – выход сети (поливная норма), $\hat{y}$ – реакция нейроэмулятора; e – ошибка управления и $\hat{e}$ – реакция

Рисунок 2 – Схема нейрорегуляции

Для обучения нейроэмулятора задают многослойную нейронную сеть прямого распространения. Основным элементом нейронной сети является нейрон. Математической формализацией искусственного нейрона являются уравнение сумматора и уравнение активационного блока [12]:

$$s_k = \sum_{j=1}^n w_{j,k} \cdot x_j + b_k, \quad (3)$$

$$y_k = \phi(s_k), \quad (4)$$

где s_k – сигнал на выходе линейного сумматора;

$w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{n,k}$ – синоптические веса;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – входные сигналы;

b_k – уровень опорного сигнала;

y_k – выходной сигнал;

$\phi(s_k)$ – функция преобразования активационного блока.

На рисунке 3 представлена схема модели искусственного нейрона и многослойной нейронной сети. Задача обучения заключается в подборе весовых коэффициентов для минимизации некоторой целевой функции, являющейся суммой квадратов ошибок сети, на примерах из обучающего

множества. В нашем случае это значения фактических скоростей и поливных норм.

**Рисунок 3 – Модель искусственного нейрона (сверху),
схема многослойной нейронной сети (снизу)**

На основании собранных данных широкозахватных ДМ были установлены оптимальные параметры нейронной сети. Процесс обучения приведен на рисунке 4.

Значения весовых матриц w_1 , w_2 и векторов смещений b_1, b_2 :

$$w_1 = (6,1084; 1,4482; -2,4494; -1,4166; 3,0076; 1,5825), \quad (5)$$

$$w_2 = (0,0901; 0,1404; -0,5105; -0,8927; 0,0042; 0,5454), \quad (6)$$

$$b_1 = (-6,7541 \quad -1,4888 \quad 1,9937 \quad 0,6833 \quad 0,6662 \quad 0,2074), \quad (7)$$

$$b_2 = -0,6501. \quad (8)$$

Рисунок 4 – Обучение нейросети в MATLAB

Нейроконтроллер в свою очередь обучается на основе нейроэмулятора. Для синтеза нейрорегулятора возможно использование различных программных продуктов, таких как MATLAB, R, Python и др. Основные нейросетевые блоки и библиотека функций активации в среде Simulink представлены на рисунке 5 [13].

Рисунок 5 – Инструменты синтеза нейрорегуляторов в MATLAB

Весовые коэффициенты сети считают постоянными, а настраивают лишь веса сети-регулятора, минимизируя расхождение отклика эталонной модели и заданных нейронных сетей на одинаковый входной сигнал, сходимость построенного нейросетевого алгоритма представлена на рисунке 6.

Отсюда следует, что синтезированный нейроконтроллер позволяет минимизировать отклонение фактических значений поливных норм от заданных, возникающее под влиянием стохастических факторов, до 1–3 %,

при этом не требуется дополнительных усилий по выявлению и корректировке работы техники. Так, на основе таких разработок за рубежом создаются системы точного орошения [14].

Рисунок 6 – Сходимость алгоритма в MATLAB

Внедрение нейроконтроллеров в СУ для повышения эффективности управления орошением возможно по крайней мере одним из следующих способов:

- создание роботизированных оросительных комплексов с интегрированной интеллектуальной СУ [15]. Оснащение оросительного комплекса бортовым компьютером позволяет применить нейроконтроллеры и контролировать не только поливную норму, но и состояние всех систем;
- создание мобильных СУ, позволяющих модернизировать существующую дождевальную технику;
- создание программных продуктов интеллектуального управления, совместимых с существующими сервисами управления сельскохозяйственными предприятиями, такими как ExactFarming, «Агросигнал» и т. п.

Так, в систему «Агросигнал» (рисунок 1) интегрируются модули, обеспечивающие сбор, обработку и анализ данных о ходе полива и величинах поливных норм, и на основании этого анализа нейромодель объекта

управления выдает предписания по корректировке скорости посредством карты режимов. Система «Агросигнал» внедрена на УНПО «Поволжье» Саратовского государственного аграрного университета.

Выводы. Предложен подход к совершенствованию систем управления дождевальными машинами российского производства, основанный на модели интеллектуального анализа данных, а именно управление дождевальными машинами с использованием нейроконтроллеров. Модель, основанная на управлении с нейроконтроллером, приводит к реализации управления, близкого к эталонному, что позволяет сократить разрыв между заданной и фактической нормой полива до 1–3 % в отличие от существующих 7–11 %. Нейроконтроллеры обладают способностью адаптироваться к изменяющимся условиям, что позволяет их использовать для разных типов дождевальных машин и в различных условиях. Предложены способы внедрения нейроконтроллеров в системы управления для повышения эффективности управления существующей техникой и при разработке новых дождевальных машин, наиболее эффективными являются роботизированные оросительные комплексы с интегрированной интеллектуальной системой управления.

Список использованных источников

- 1 Ольгаренко, Г. В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники полива в Российской Федерации / Г. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 44–47.
- 2 Рекомендации по эффективному использованию орошаемых земель с учетом введения в оборот длительно неиспользуемых поливных участков / В. А. Шадских, Н. Ф. Рыжко, В. Е. Кижаяева, Н. В. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов. – Энгельс, 2020. – 37 с.
- 3 Соловьев, Д. А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива / Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 1(41). – С. 38–43.
- 4 Чернодуб, А. Обзор методов нейрорууправления / А. Чернодуб, Д. Дзюба // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79–94.
- 5 Белов, М. П. Исследование системы управления электроприводом подачи токарного станка с применением метода обобщенного нейрорууправления с прогнозированием / М. П. Белов, И. С. Носиров, Ч. Х. Фьонг // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – № 4. – С. 45–53.
- 6 On replacing PID controller with deep learning controller for DC motor system /

K. Cheon, J. Kim, M. Hamadache, D. Lee // J. of Automation Control Engineering. – 2015. – Vol. 3, no. 6. – P. 452–456. – DOI: 10.12720/joace.3.6.452-456.

7 McCarthy, A. Simulation of irrigation control strategies for cotton using model predictive control within the VARIwise simulation framework / A. McCarthy, N. Hancock, S. Raine // Computers Electronics in Agriculture. – 2014. – Vol. 101. – P. 135–147. – DOI: 10.1016/j.compag.2013.12.004.

8 Tsang, S. W. Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation / S. W. Tsang, C. Y. Jim // Energy Buildings. – 2016. – Vol. 127. – P. 360–369. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.005.

9 King, B. A. Evaluation of neural network modeling to predict non-water-stressed leaf temperature in wine grape for calculation of crop water stress index / B. A. King, K. C. Shellie // Agricultural Water Management. – 2016. – Vol. 167. – P. 38–52. – DOI: 10.1016/J.AGWAT.2015.12.009.

10 Design of a WSN for smart irrigation in citrus plots with fault-tolerance and energy-saving algorithms / L. Parra, J. Rocher, L. Garcia, J. Lloret, J. Tomás, O. Romero, M. Rodilla, S. Falco, M. T. Sebastiá, J. Mengual, J. A. González, B. Roig // Network Protocols Algorithms. – 2018. – Vol. 10. – P. 95–115. – DOI: 10.5296/npa.v10i2.13205.

11 Омату, С. Нейроуправления и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф. – Кн. 2. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с. – (Серия: Нейрокомпьютеры и их применение).

12 Schmidhuber, J. Deep learning in neural networks: An overview / J. Schmidhuber // Neural Networks. – 2015. – Vol. 61. – P. 85–117. – DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.

13 Дьяконов, В. П. MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

14 Variable-rate irrigation management using an expert system in the eastern coastal plain / K. C. Stone, P. J. Bauer, W. J. Busscher, J. A. Millen, D. E. Evans, E. E. Strickland // Irrigation Science. – 2015. – Vol. 33. – P. 167–175. – DOI: 10.1007/s00271-014-0457-x.

15 Soloviev, D. Robotic irrigative complex with intellectual control system “Cascade” / D. Soloviev, L. Zhuravleva, S. Bakirov // Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy: XVIII International Scientific and Practical Conference. – 2019. – P. 145–156.

References

1 Olgarenko G.V., 2018. *Realizatsiya programmy importozameshcheniya v oblasti proizvodstva tekhniki poliva v Rossiyskoy Federatsii* [Realization of import phase-out program of irrigation equipment production in the Russian Federation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Industry], no. 1, pp. 44-47. (In Russian).

2 Shadskikh V.A., Ryzhko N.F., Kizhaeva V.E., Ryzhko N.V., Ryzhko E.S., Smirnov S.N., 2020. *Rekomendatsii po effektivnomu ispol'zovaniyu oroshaemykh zemel' s uchetom vvedeniya v oborot dlitel'no neispol'zuemykh polivnykh uchastkov* [Recommendations for Efficient Use of Irrigated Lands, Taking into Account the Introduction of Long-Term Unused Irrigated Areas into Circulation]. Engels, 37 p. (In Russian).

3 Soloviev D.A., Zhuravleva L.A., 2018. *Vliyanie rezhima dvizheniya dozhdeval'nykh mashin na normu poliva* [Influence of sprinkler movement regime on the irrigation rate]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* [Bull. of the APK of the Upper Volga Region], no. 1(41), pp. 38-43. (In Russian).

4 Chernodub A., Dzyuba D., 2011. *Obzor metodov neyroupravleniya* [Review of neuro-control methods]. *Problemy programmirovaniya* [Programming Problems], no. 2, pp. 79-94. (In Russian).

5 Belov M.P., Nosirov I.S., Phyong Ch.H., 2018. *Issledovanie sistemy upravleniya elektropriivodom podachi tokarnogo stanka s primeneniem metoda obobshchennogo neyroupravleniya s prognozirovaniem* [Electric servo drive of turning lathe control system using

neural generalized predictive control]. *Izvestiya SPbGETU "LETI"* [Bull. SPbGETU "LETI"], no. 4, pp. 45-53. (In Russian).

6 Cheon K., Kim J., Hamadache M., Lee D., 2015. On replacing PID controller with deep learning controller for DC motor system. *J. of Automation Control Engineering*, vol. 3, no. 6, pp. 452-456, DOI: 10.12720/joace.3.6.452-456.

7 McCarthy A., Hancock N., Raine S., 2014. Simulation of irrigation control strategies for cotton using model predictive control within the VARIwise simulation framework. *Computers Electronics in Agriculture*, vol. 101, pp. 135-147, DOI: 10.1016/j.compag.2013.12.004.

8 Tsang S.W., Jim C.Y., 2016. Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation. *Energy Buildings*, vol. 127, pp. 360-369, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.005.

9 King B.A., Shellie K.C., 2016. Evaluation of neural network modeling to predict non-water-stressed leaf temperature in wine grape for calculation of crop water stress index. *Agricultural Water Management*, vol. 167, pp. 38-52, DOI: 10.1016/J.AGWAT.2015.12.009.

10 Parra L., Rocher J., Garcia L., Lloret J., Tomás J., Romero O., Rodilla M., Falco S., Sebastián M.T., Mengual J., González J.A., Roig B.M., 2018. Design of a WSN for smart irrigation in citrus plots with fault-tolerance and energy-saving algorithms. *Network Protocols Algorithms*, vol. 10, pp. 95-115, DOI: 10.5296/npa.v10i2.13205.

11 Omatu S., Khalid M., Yusof R., 2000. *Neyroupravleniya i ego prilozheniya* [Neurocontrol and its applications]. B. 2, Moscow, IPRZhR, 272 p. (In Russian).

12 Schmidhuber J., 2015. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, vol. 61, pp. 85-117, DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003. (In Russian).

13 D'yakov V.P., 2012. *MATLAB. Polnyy samouchitel'* [MATLAB. Complete Tutorial]. Moscow, DMK Press, 768 p. (In Russian).

14 Stone K.C., Bauer P.J., Busscher W.J., Millen J.A., Evans D.E., Strickland E.E., 2015. Variable-rate irrigation management using an expert system in the eastern coastal plain. *Irrigation Science*, vol. 33, pp. 167-175, DOI: 10.1007/s00271-014-0457-x.

15 Soloviev D., Zhuravleva L., Bakirov S., 2019. Robotic irrigative complex with intellectual control system "Cascade". *Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy: XVIII International Scientific and Practical Conference*, pp. 145-156.

Соловьев Дмитрий Александрович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: врио ректора университета, декан факультета инженерии и природообустройства, заведующий кафедрой техносферной безопасности и транспортно-технологических машин

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: пл. Театральная, 1, г. Саратов, Российская Федерация, 410012

E-mail: rector@sgau.ru, solovevda@bk.ru

Solovyev Dmitriy Aleksandrovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Acting Rector of the University, Dean of the Faculty of Engineering and Environmental Engineering, Head of the Department of Technosphere Safety and Transport Technology Machines

Affiliation: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov

Affiliation address: pl. Theatralnaia, 1, Saratov, Russian Federation, 410012

E-mail: rector@sgau.ru, solovevda@bk.ru

Камышова Галина Николаевна

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Ученое звание: доцент

Должность: заведующая кафедрой математики, механики и инженерной графики

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: пл. Театральная, 1, г. Саратов, Российская Федерация, 410012

E-mail: gkamichova@mail.ru

Kamyshova Galina Nikolayevna

Degree: Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Head of the Department of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics

Affiliation: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov

Affiliation address: pl. Theatralnaia, 1, Saratov, Russian Federation, 410012

E-mail: gkamichova@mail.ru

Макаров Сергей Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: и. о. проректора по учебной работе, заведующий кафедрой технического обеспечения АПК

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: пл. Театральная, 1, г. Саратов, Российская Федерация, 410012

E-mail: makarovsgau@yandex.ru

Makarov Sergey Anatolyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Acting Vice-Rector for Academic Affairs, Head of the Department of Technical Support of the AIC

Affiliation: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov

Affiliation address: pl. Theatralnaia, 1, Saratov, Russian Federation, 410012

E-mail: makarovsgau@yandex.ru

Терехова Надежда Николаевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры математики, механики и инженерной графики

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: пл. Театральная, 1, г. Саратов, Российская Федерация, 410012

E-mail: nterehova2015@yandex.ru

Terekhova Nadezhda Nikolayevna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of the Department of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics

Affiliation: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov

Affiliation address: pl. Theatralnaia, 1, Saratov, Russian Federation, 410012

E-mail: nterehova2015@yandex.ru

Бакиров Сергей Мударисович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры инженерной физики, электрооборудования и электротехнологий

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: пл. Театральная, 1, г. Саратов, Российская Федерация, 410012

E-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Bakirov Sergey Mudarisovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of the Department of Engineering Physics, Electrical Equipment and Electrical Technologies

Affiliation: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov

Affiliation address: pl. Theatralnaia, 1, Saratov, Russian Federation, 410012

E-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Поступила в редакцию 24.07.2020

После доработки 27.08.2020

Принята к публикации 23.10.2020