

# МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

**СОЛОВЬЕВ Дмитрий Александрович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**КАМЫШОВА Галина Николаевна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**КОЛГАНОВ Дмитрий Александрович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**ТЕРЕХОВА Надежда Николаевна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

103

*В статье освещаются результаты моделирования интеллектуальной системы управления оросительным комплексом. Внедрение технологий точного орошения требует разработки новых подходов к техническому обеспечению. Традиционные подходы, основанные на простой автоматизации процессов, зачастую не приводят к эффективным решениям. Предложен подход, основанный на модели интеллектуализации автоматизированных систем управления. Обоснована структура интеллектуальной системы управления оросительным комплексом, в основу которой положена искусственная нейронная сеть.*

**Введение.** Повышение роли сельскохозяйственного производства, в том числе орошающего земледелия, в экономике России, необходимость обеспечения продовольственной безопасности, импортозамещения и повышения экономической эффективности аграрного сектора в условиях меняющегося климата ставит новые амбициозные задачи перед мелиоративной наукой [4]. Тенденции развития дождевальной техники в направлении интеллектуализации представляют собой ключевое направление мировой мелиоративной науки [8].

Анализ российского рынка аграрных цифровых технологий показывает его ограниченность в плане наличия интегрированных подходов к решению проблем повышения эффективности производства и отработанных технологий автоматизации и роботизации сельскохозяйственных процессов [7]. В этой связи становятся актуальными научные исследования, направленные на разработку новых технических решений, позволяющих внедрять принципы интеллектуализации и цифровизации. Представляемое исследование направлено на разработку модели интеллектуальной системы управления оросительным комплексом.

**Методика исследований.** Дождевальная машина представляет собой сложную техническую систему. Ее динамическая составляющая функционирует в условиях высокой степени неопределенности внешних воздей-

ствий. Обзор исследований показывает [5], что существующие до этого времени методы и модели систем управления представляли собой экспериментальные исследования с построением математических моделей статистических зависимостей объектов управления и выработке рекомендаций по корректировке режимов работы дождевальных машин для достижения оптимальных параметров. Однако, с одной стороны, такой подход требует постоянного внесения соответствующих корректировок в эксплуатационные режимы работы машины, с другой стороны, с точки зрения применения современных методов, не является оптимальным. В связи с этим моделирование систем управления дождевальной машиной обуславливает необходимость применения инновационных подходов к использованию современных информационных и телекоммуникационных технологий наряду с применением интеллектуальных инструментов анализа и обработки данных и знаний. В основу разработки модели интеллектуальной системы управления дождевальной машиной положены как общие аспекты теории автоматического и интеллектуального управления, так и искусственные нейронные сети.

**Результаты исследований.** В самом общем случае алгоритм взаимодействия автоматизированной системы управления можно представить в виде замкнутого цикла (рис. 1): получая посредством измерительных устройств информацию о состоянии окружа-



ющей среды, система управления на основе заложенных правил, вырабатывает управляющие воздействия, которые передаются на исполнительные устройства, воздействуя таким образом на окружающую среду.



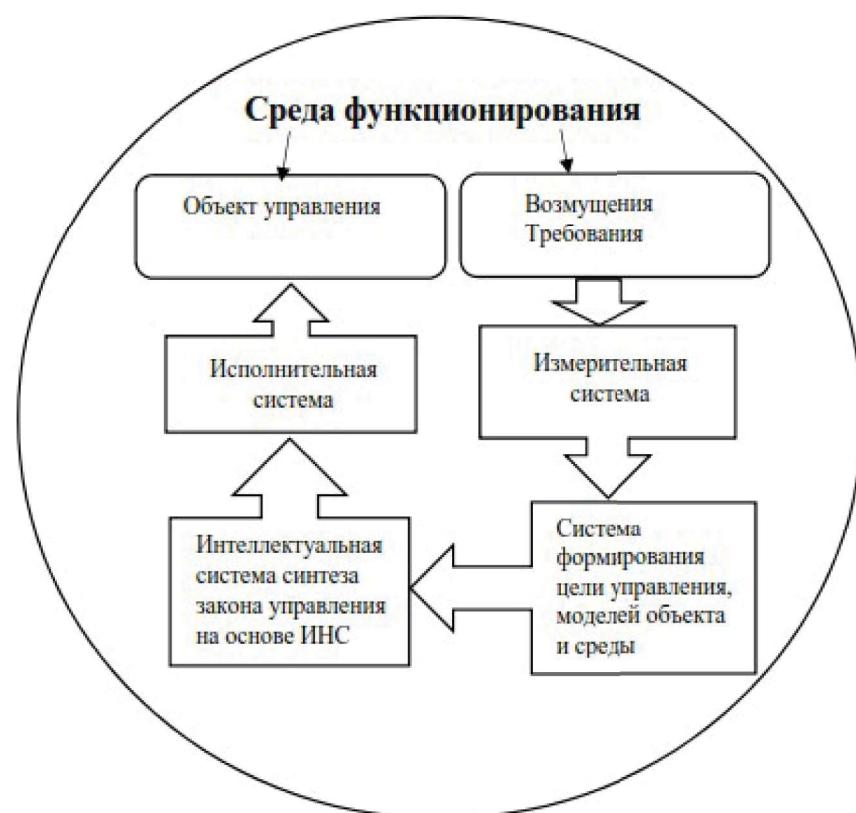
*Рис. 1. Алгоритм взаимодействия в автоматизированной системе управления*

Следующим шагом в развитии систем управления является переход от автоматизированных систем к интеллектуальным. Объекты управления, условия функционирования и воздействия внешней среды в рамках функционирования таких систем подвергаются «умному» анализу и алгоритму выработки решения. Происходит так называемая интеллектуальная обработка данных и знаний. Функционирование

интеллектуальных систем управления предполагает существование специального устройства извлечения, хранения и обработки данных и знаний, что отличает их от автоматизированных систем [6].

На рис. 2 приведена обобщенная структура интеллектуальной системы управления. В ее основу положена интеллектуальная система формирования закона управления на базе сформированной цели. Помимо этого, в ней присутствуют модели объекта управления и внешней среды. Формирование закона управления основано в свою очередь на математической модели объекта. Как известно построение математической модели предполагает наличие экспериментальных данных о реакции объекта управления на возмущения, описание физических взаимосвязей и конструкций при необходимости. На этой основе интеллектуальная система реализует закон управления [1, 14]. В его основу может быть положена искусственная нейронная сеть.

Управление, основанное на интеллектуальных методах и технологиях, является весьма востребованным в последние годы, так как позволяет оптимизировать работу техники и технических устройств в условиях неопределенности, исключая или сводя к минимуму человеческий фактор. Создание такой «умной» техники нового поколения необходимо для повышения эффективности сельского хозяйства [15].



*Рис. 2. Схема интеллектуальной системы автоматического управления*

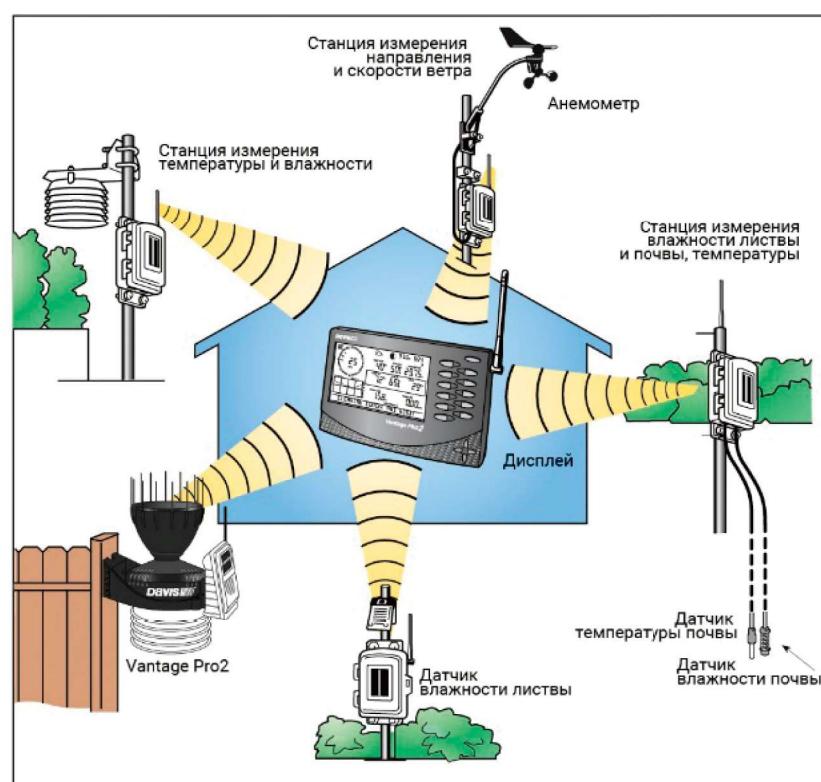


*Рис. 3. Структурные компоненты интеллектуальной системы управления*

Предлагаемая нами интеллектуальная система управления, представленная на рис. 3, содержит следующие структурные компоненты: измерительная система, система формирования моделей, интеллектуальная система и исполнительная система.

Измерительная система, формирует блок оперативных данных. Необходимыми для валидации моделей являются данные о температуре и относительная влажность воздуха, листвы и почвы, атмосферном давлении, показатели количества осадков, скорости и направлении ветра. Данная система представлена автоматической метеорологической станцией Vantage Pro2. Она состоит из трех компонентов: измерительного, центрального и вспомогательного. Измерительный (устанавливаемый в поле) модуль содержит устройства первичных измерений основных метеорологических параметров (скорость ветра, температура, влажность). Центральный (устанавливаемый в помещении) – состоит из микропроцессора, первичных преобразователей основных ме-

теорологических параметров, устройств коммуникации. Отличительной особенностью Vantage Pro2 является работа в круглосуточном режиме и обмен данными по радиомодему стандарта GSM [11]. Помимо этого, возможно применение



*Рис. 4. Структурные компоненты Vantage Pro2 [11]*



дополнительного вспомогательного оборудования (рис. 4).

Система формирования моделей представляет собой блок баз данных и знаний: режимы орошения, природная зона, почвы (механический состав, водно-физические и химические свойства), гидрogeология (рельеф, грунтовые воды), сельскохозяйственная культура (сроки вегетации, темп роста, глубина корневой системы). Модели как объекта управления, так и среды функционирования строятся на их основе.

Интеллектуальная система осуществляет построение закона управления. Закон управления базируется на математических моделях объекта управления и среды. Они в свою очередь строят на базе оперативных данных и информации динамическую оценку почвенных влагозапасов. А этот параметр в свою очередь связан с видом и фазой развития сельскохозяйственной культуры. Таким образом, мы можем говорить о наличии многосвязных, трудно формализуемых факторов. Что и обуславливает необходимость применения интеллектуальных методов и инструментов.

За основу интеллектуальной системы предлагаются взять нейроконтроллер [9, 10], т.е. использовать искусственную нейронную сеть. Этому этапу требуемая влажность почвы сравнивается с фактической влажностью почвы, и решение принимается динамически, в определенный промежуток времени, а не задается изначально для всего полива. Таким образом, контроллер имеет два входа: требуемую влажность почвы и рассчитанную влажность почвы из модели водопотребления, и один выход, называемый управляющим входом для исполнительной системы.

Математическое описание искусственного нейрона и различных видов, построенных из нейронов сетей, достаточно подробно описано в литературе [12]. Задаются  $x_1, x_2, \dots, x_n$  –

входные сигналы и  $y_k$  – выходной сигнал, а для каждого  $k$ -го нейрона находятся весовые коэффициенты  $w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{n,k}$  и уровень опорного сигнала  $b_k$ . При этом сигнал на выходе линейного сумматора и функция преобразования активационного блока  $s_k, \phi(s_k)$  связаны с выше обозначенными параметрами по формулам:

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

$$y_k = \phi(s_k). \quad (2)$$

Схема модели искусственного нейрона и многослойной нейронной сети представлена на рис. 5. Для нейронной сети рассматривают два режима – обучение и непосредственная имплементация. На основе данных из обучающего множества осуществляется подбор весовых коэффициентов по некоторому критерию.

На основании собранных данных устанавливаются оптимальные параметры нейронной сети [13]. Возможно использование различных алгоритмов, в зависимости от программных средств реализации. Нами использовался алгоритм Левенберга – Марквардта. Структура нейронной сети определена следующим образом: количество слоев – 2, первый слой содержит 5 нейронов, второй – один, функция активации – гиперболический тангенс, функция качества обучения – среднеквадратическая ошибка.

Нами была использована среда Matlab [2], процесс обучения в которой имеет вид (рис. 6).

В результате симуляции, фактическая влажность почвы сопоставляется с требуемой влажностью почвы. Погрешность контроллера ИНС (разница между необходимой и фактической влажностью почвы) устойчивая и допустимая (менее 2 %), что позволяет сэкономить много энергии и воды.

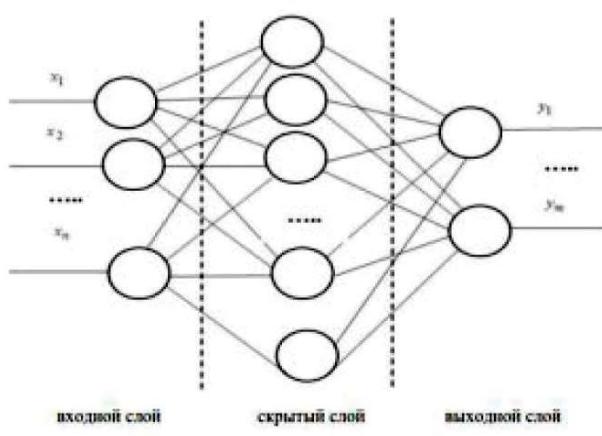
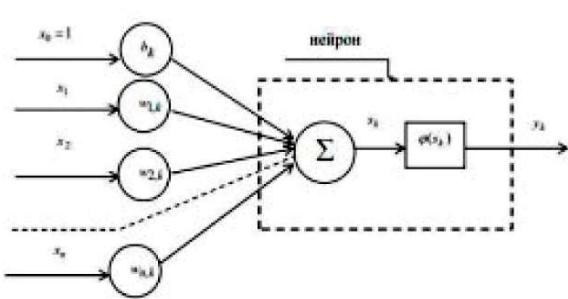


Рис. 5. Модель искусственного нейрона (слева), схема многослойной нейронной сети (справа)



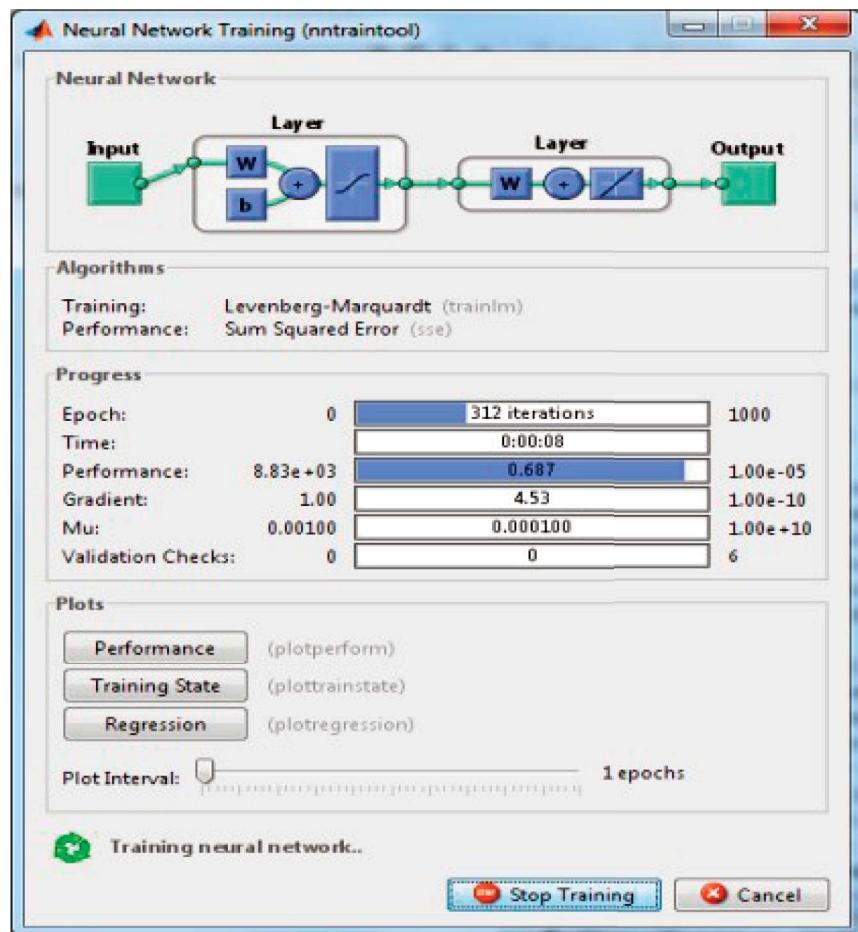


Рис. 6. Обучение нейросети в Matlab

Исполнительная система реализует управляющее воздействие, сформированное интеллектуальной системой на основе искусственной нейронной сети, и представлена бортовым компьютером, установленным в верхней части крайней тележки и автоматической системой управления.

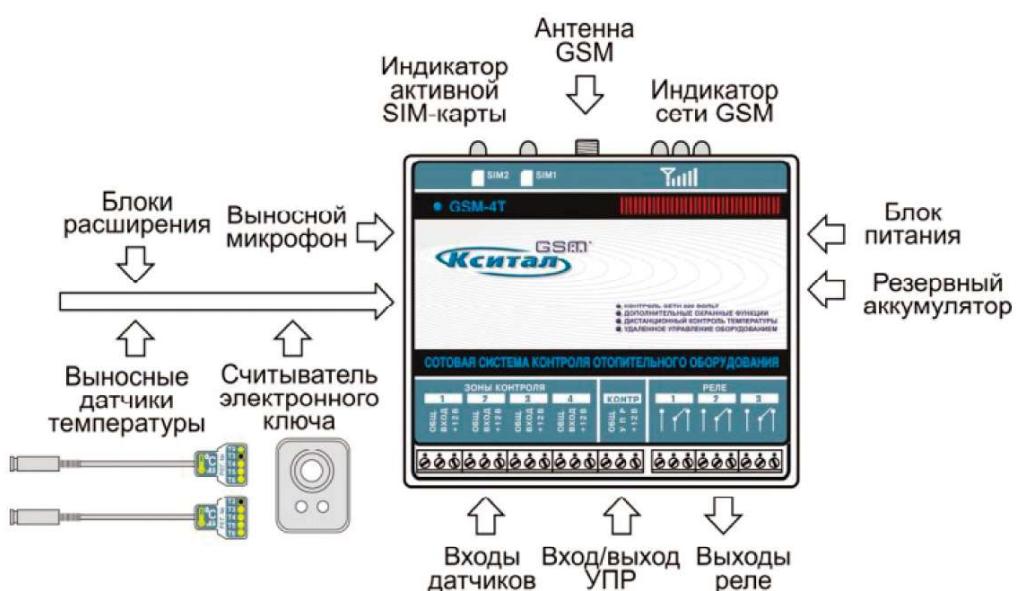
Основными компонентами системы автоматического управления являются контроллер «КСИТАЛ GSM-12T» (рис. 7) с встроенным GSM-

модулем, микрореле контроля и антенна. Эта структура позволяет отслеживать работу оборудования или сбои, а также круглосуточно проводить дистанционное управление по сотовой связи [3].

Система в автоматическом режиме контролирует функциональное состояние (фактическую скорость, параметры двигателя, расход топлива) и регулирует технологические параметры, одновременно передавая информацию в общий пункт управления или оператору.

**Заключение.** Значительному снижению материальных расходов способствуют интеллектуальные технологии, так называемого точного орошения, то есть орошения в зависимости от точной нормы полива на каждом конкретном участке. Техническая реализация данного подхода является сложной задачей. В исследовании предложено решение на основе модели интеллектуальной системы управления оросительным

комплексом. Обоснована структура интеллектуальной системы управления в основу которой положена искусственная нейронная сеть. Контроллер на основе искусственной нейронной сети реализует адаптивные параметры режима орошения посредством динамического изменения поливной нормы в условиях изменяющейся во времени внешней среды. Таким образом происходит улучшение параметров качества орошения.





## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аль-Бареда Я.С., Пупков К.А. Алгоритм решения задачи синтеза управления методом искусственных нейронных сетей // Вестник РУДН. Серия инженерные исследования. – 2016. – №2. – С. 7–15.
  2. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
  3. Каталог Кситал. – Режим доступа: <https://ksytal.ru/>.
  4. Ольгаренко Г.В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники полива в Российской Федерации // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – №1. – С. 44–47.
  5. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник / Г.В. Ольгаренко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
  6. Степанов М.Ф., Степанов А.М. Математическое моделирование интеллектуальных самоорганизующихся систем: исследование механизма планирования действий // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017): сб. материалов Междунар. конф. и молодеж. шк., 17–19 мая 2016 г. – Сармана, 2017. – С. 1419–1424.
  7. Технический уровень отечественного и зарубежного оборудования, применяемого в мелиорации: Информационный сборник / ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2011. – 215 с.
  8. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Дайбова Л.А. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 199 с.
  9. Чернодуб А., Дзюба Д. Обзор методов нейроуправления // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79–94.
  10. Beale M., Hagan M., Demuth H. Neural Network ToolboxTM User's Guide. The Math Works, Inc, 2015. – 406 p.
  11. Davis Instruments. VantagePro2. – Режим доступа: <https://www.davisinstruments.com/vantage-pro2/>.
  12. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú FX. Deep learning in agriculture: a survey// Computers and Electronics in Agriculture, 2018, Vol. 147, P. 70–90.
  13. Schmidhuber J. Deep Learning in neural networks: An overview // Neural Networks, 2015, Vol. 61, P. 85–117.
  14. Stepanov M., Stepanov A., Pakhomov M., Salikhova A., Mikhaylova L. Development Tools of the intellectual self-organized systems of automatic control. // Information technology and Nanotechnology (ITNT-2016): Proceedings of the International conference Information technology and nanotechnology, Samara, Russian, 2016, May 17–19, P. 674–680.
  15. Soloviev D., Zhuravleva L., Bakirov S. Robotic Irrigative Complex with Intellectual Control System «CASCADE» // XVIII International Scientific and Practical Conference «Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy», 2019, P. 145–156.
- Соловьев Дмитрий Александрович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.
- Камышова Галина Николаевна**, канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.
- Колганов Дмитрий Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.
- Терехова Надежда Николаевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.
- 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.  
Тел.: (8452) 74-96-63, e-mail: [gkamichova@mail.ru](mailto:gkamichova@mail.ru).

**Ключевые слова:** интеллектуальное управление; искусственная нейронная сеть; орошение; модель.

## MODEL OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR AN IRRIGATION COMPLEX

**Solovyev Dmitry Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair “Technosphere Safety and Transport and Technological Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Kamysheva Galina Nickolaevna**, Candidate of Physical Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the chair “Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Kolganov Dmitry Alexandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Technosphere Safety and Transport and Technological Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Terekhova Nadezhda Nickolaevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Mathematics, Me-

chanics and Engineering Graphics”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Keywords:** intelligent control; artificial neural network; irrigation; model.

The article presents the results of modeling an intelligent control system for an irrigation complex. The introduction of precision irrigation technologies requires the development of new approaches to technical support. Traditional approaches based on simple process automation often do not lead to effective solutions. An approach based on the model of intellectualization of automated control systems is proposed. The structure of the intelligent control system for the irrigation complex is substantiated, which is based on an artificial neural network.