

Нагоев Залимхан Вячеславович – Кабардино-Балкарский научный центр РАН; e-mail: zaliman@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: +79280816026; к.т.н.; генеральный директор.

Шуганов Владислав Миронович – e-mail: vmshuganov@mail.ru; тел.: +79633949690; д.с.-х.н.; зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания».

Заммоев Аслан Узеврович – e-mail: zammoev@mail.ru; тел.: +79054350923; к.т.н.; старший научный сотрудник лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Бжихатлов Кантемир Чамалович – e-mail: haosit13@mail.ru; тел.: +79631663448; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Иванов Заур Зуберович – e-mail: zaurivanov@mail.ru; тел.: 8662475303; к.э.н.; старший научный сотрудник отдела «Экономика инновационного процесса».

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich – Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: zaliman@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: +7928 0816026; cand. of eng. sc.; general manager.

Shuganov Vladislav Mironovich – e-mail: vmshuganov@mail.ru; phone: +79633949690; dr. of agr. sc.; head of the research and innovation center «Intellectual systems and environments for the production and consumption of food products».

Zammoev Aslan Uzeyrovich – e-mail: zammoev@mail.ru; phone: +79054350923; cand. of eng. sc.; senior researcher of the Laboratory «Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems».

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich – e-mail: haosit13@mail.ru; phone: +79631663448; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Ivanov Zaur Zuberovich – e-mail: zaurivanov@mail.ru; phone: 8662475303; cand. of econ. sc.; senior researcher of the department of «Economics of the Innovation Process».

УДК 004.81, 004.75

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-91-101

И.А. Пшенокова, К.Ч. Бжихатлов, А.А. Унагасов, М.А. Абазоков

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ АЛГОРИТМ СБОРА ДАННЫХ С МЕТЕОСТАНЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ

Погода оказывает сильное влияние на урожайность и состояние посевов, на требования к количеству и качеству удобрений, а также на профилактические меры по предотвращению заболеваний. Плохие погодные условия могут повлиять на качество продукции во время транспортировки и хранения, а значит и на жизнеспособность семян и посадочного материала. В настоящее время в сельском хозяйстве широко применяются различные системы интеллектуального мониторинга, к которым можно отнести спутниковый мониторинг и метеостанции. При этом основополагающую роль играет выбор метода анализа полученных данных и интеллектуальных систем их обработки для превентивного прогнозирования. Целью исследования является разработка интеллектуальной системы прогнозирования урожайности и состояния посевов на основе данных с метеостанции. В рамках данного исследования разработан мультиагентный алгоритм прогнозирования состояния посевов по данным с метеостанции на основе самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры. Приведено описание структурной схемы метеостанции и ее датчиков. Разработан алгоритм программы для сбора и обработки данных с датчиков метеостанции. В результате обработки в интеллектуальную систему принятия решений отправляются данные о температуре воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, скорости и направлении ветра, количестве осадков и о сумме активных температур. Описана система построения причинно-следственных связей, на основе которой строится система прогнози-

рования, которая позволяет в превентивном порядке делать рекомендации или прогнозы по урожайности и состоянию посевов, а также по вероятности заболеваний и распространения вредителей на контролируемых посевах.

Интеллектуальный агент; мультиагентный алгоритм; нейрокогнитивная архитектура; метеостанция; интеллектуальная система; умное поле.

I.A. Pshenokova, K.Ch. Bzhikhatlov, A.A. Unagasov, M.A. Abazokov

MULTI-AGENT ALGORITHM FOR COLLECTING DATA FROM WEATHER STATION FOR FORECASTING PRODUCTIVITY AND CROPS CONDITION

The weather affects the productivity and condition of crops, the requirements for the quantity and quality of fertilizers, as well as preventive measures to prevent diseases. Bad weather can affect the quality of products during transportation and storage, and hence the germination of seeds and planting material. Various intelligent monitoring systems are now widely used in agriculture, which include satellite monitoring and weather stations. In this case, the choice of a method for analyzing the received data and intelligent systems for their processing for predictive forecasting plays a fundamental role. The purpose of this study is to develop an intellectual system for predicting the state of the crop based on data from a weather station. A multi-agent algorithm for predicting the state of crops according to data from a weather station based on the self-organization of neurocognitive architecture was developed in this study. The description of the block diagram of the weather station and its sensors is given. A program algorithm has been developed for collecting and processing data from weather station sensors. As a result of processing, data on air and soil temperature, air and soil humidity, wind speed and direction, precipitation amount and the sum of active temperatures are sent to the intelligent decision-making system. A system for constructing cause-and-effect relationships is described. This system can make recommendations or forecasts on the condition of the crop and on the likelihood of diseases and pests in controlled crops.

Intellectual agent; multi-agent algorithm; neurocognitive architecture; weather station; intelligent system; smart farming.

Введение. Погода играет важную роль в сельскохозяйственном производстве. Она оказывает сильное влияние на урожайность и состояние посевов, на требования к количеству и качеству удобрений, а также на профилактические меры по предотвращению заболеваний. Плохие погодные условия могут повлиять на качество продукции во время транспортировки и хранения, а значит и на жизнеспособность семян и посадочного материала. В настоящее время в сельском хозяйстве широко применяются различные системы интеллектуального мониторинга, к которым можно отнести дистанционное зондирование земли и применение автономных метеостанций. При этом основополагающую роль играет выбор метода анализа полученных данных и интеллектуальных систем их обработки для превентивного прогнозирования.

Спутниковый мониторинг по сравнению с метеостанциями имеет большие преимущества по охвату территории и при условии достаточно хорошей калибровки является источником оперативной и достоверной информации. Метеостанции, в свою очередь, позволяют получить качественную и количественную характеристику конкретного поля, позволяя накапливать базу данных для принятия решений при проведении агротехнических мероприятий. Спутниковая съемка широко используется в различных системах прогнозирования урожайности и состояния посевов. В частности, в работе [1] описан подход к прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В качестве основного параметра прогностической регрессионной модели использовались значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Разработанная в ФГБУ «НИЦ «Планета» технология мониторинга состояния посевов посредством спутниковых наблюдений прогнозирует урожайность на отдельных полях, хозяйствах, административных районах, областях и проводит оценку состояния посевов по трем градациям, принятым в агрометеорологии: хорошее состояние посевов, удовлетворительное и плохое [2]. Технология мониторинга состояния посевов строилась на модификации американской модели биопродуктивности EPIC, разработанной в Техасской сельскохозяйственной научно-исследовательской лаборатории (Temple, TX, Soil and Water Research Laboratory) [3] в программном комплексе SDIM (Sistem of Databases and Imitating Modeling) и создании алгоритма оценки состояния посевов зерновых культур [4].

В работе [5] проводится анализ достоверности глобальных внутрисезонных и предсезонных прогнозов изменчивости урожайности, полученных путем применения статистических моделей к сезонным данным о температуре и осадках. Этот анализ выполняется для пяти отдельных моделей общей циркуляции (general circulation models (GCMs)) и двух наборов данных многомодельного ансамбля (multi-model ensemble (MME)) по усредненным данным и по отдельным областям.

В работе [6] проводится сравнение линейных и нелинейных регрессионных подходов к моделированию урожайности сельскохозяйственных культур с использованием погодных индексов. Используя комбинацию средних и пиковых погодных индексов в качестве входных данных, было доказано, что линейные регрессионные модели хуже прогнозируют урожайность, чем нелинейные модели.

Европейская система мониторинга состояния и продуктивности посевов (проект MARS) [7] осуществляет прогноз урожайности на основе двух разных статистических методов. В основе первого метода лежит классическая регрессионная модель. Второй метод основан на сравнении текущих условий развития посевов с условиями за предшествующие годы, с целью поиска аналогичного сценария.

Все рассмотренные выше модели опираются на уникальный набор входных характеристик, который не всегда является универсальным для различных территорий. Для получения данных, характерных для конкретной территории используются метеостанции. На российском рынке представлено множество моделей метеостанций различных производителей. На сегодняшний день, по данным компании «Агросигнал», метеостанции используют, как минимум, 50% крупных агропредприятий страны [8]. Поэтому весьма актуальной является задача разработки интеллектуальной системы прогнозирования состояния посевов по метеоданным.

Объектом исследования является влияние метеоданных на состояние посевов.

Предметом исследования является изучение возможности создания интеллектуальной системы прогнозирования состояния посевов по метеоданным на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Цель исследования – разработка интеллектуальной системы прогнозирования состояния посевов на основе данных с метеостанции.

Задача исследования – разработать мультиагентный алгоритм прогнозирования состояния посевов по данным с метеостанции на основе нейрокогнитивной архитектуры.

Сбор данных с метеостанции. В работе сбор данных осуществлялся с помощью метеостанции «ПогодаВПоле» [9], основными функциями которой являются:

- ◆ сбор данных о погоде на любом расстоянии без выезда в поле (количество выпавших осадков в виде дождя в мм, температура воздуха и температура почвы на глубине);
- ◆ автоматический расчет сумм активных температур 50С, 100С, а также средней, минимальной, максимальной температуры почвы в любой период;
- ◆ хранение истории и предоставление отчетности и графиков за любой промежуток времени.

Автономная метеостанция (рис. 1) состоит из системы энергообеспечения на базе солнечных панелей и Li-ion аккумулятора, системы беспроводной связи (3G) и микроконтроллера, отвечающего за сбор и обработку данных.



Рис. 1. Фотография автономной метеостанции

К микроконтроллеру подключены датчики метеостанции (датчики температуры и влажности воздуха и почвы, система контроля скорости и направления ветра и ряд других). Структурная схема автономной метеостанции представлена на рис. 2.

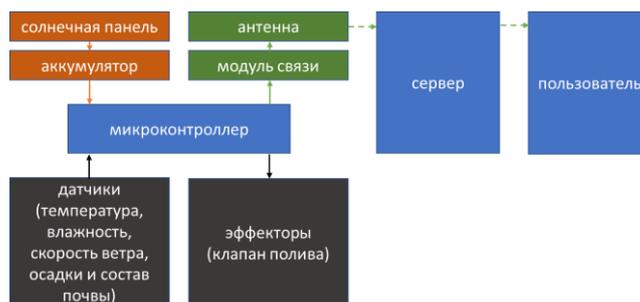


Рис. 2. Структурная схема автономной метеостанции

В рамках разработки системы «Умное поле» [10] автономная метеостанция установлена в поле, где она круглосуточно собирает погодные данные, которые передает на сервер. Пользователь для получения собранных данных подключается к онлайн-сервису, на котором хранятся метеоданные. Для сбора данных и их последующей обработки была разработана программа автоматического сбора данных [11], внешний вид окна которой показан на рис. 3.

Разработанная программа отвечает за сбор данных и их отправку в интеллектуальную систему принятия решений. Для этого программа подключается к серверу с метеоданными и считывает все новые записи, относящиеся к выбранной метеостанции. Полученный массив данных расшифровывается и отправляется в систему принятия решений в виде json сообщения. Кроме того, вся собранная информация хранится в файлах на локальном хранилище. Алгоритм работы программы для сбора данных с метеостанции представлен на рис. 4.

В результате сбора данных в интеллектуальную систему принятия решений отправляются данные о температуре воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, скорости и направлении ветра, количестве осадков и о сумме активных температур. Такой набор входных параметров позволяет в превентивном порядке делать рекомендации или прогнозы по урожайности и состоянию посевов, а также по вероятности заболеваний и распространения вредителей на контролируемых посевах.

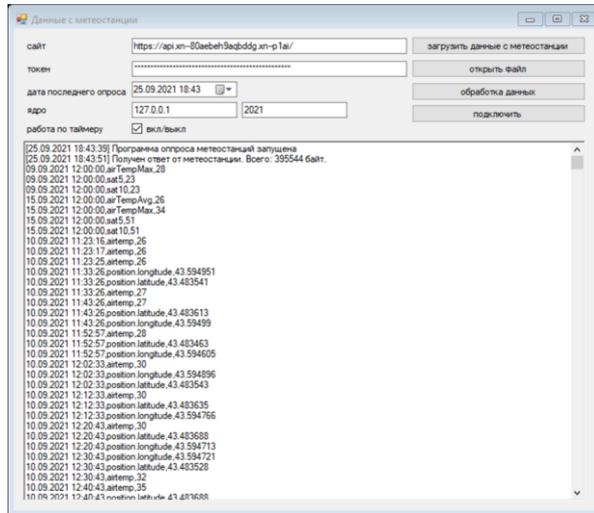


Рис. 3. Внешний вид окна программы сбора данных с метеостанции



Рис. 4. Алгоритм работы программы для сбора данных с метеостанции

Мультиагентный алгоритм прогнозирования состояния посевов по данным с метеостанции. Данные поступают на вход интеллектуальной системы принятия решений и управления на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, описанной и названной в [12] интеллектуальным агентом (ИА). Такой агент получает информацию через систему многомодальных сенсоров, которая передается в рекурсивную нейрокогнитивную архитектура ИА, состоящую из агентов-нейронов [13], взаимодействующих в рамках единой системы функциональных узлов на основе обмена сообщениями. Каждый агент обладает целевой функцией максимизации энергии. Энергия рассматривается в качестве описательной характеристики – меры активности агента в среде. Агенты-нейроны имеют возможность пополнения своей энергии путем передачи информации в виде сооб-

щений другим агентам. Такое взаимодействие агентов разных типов возможно благодаря выполнению специального алгоритма – мультиагентного контракта [14]. Под валентностью понимается способность агента найти контрагента и заключить с ним контракт в соответствии с заданным типом протокола взаимодействия называется валентность [15].

В результате работы разрабатываемый ИА должен самостоятельно научиться прогнозировать возможную урожайность и вероятности появления вредителей и сорняков по данным с метеостанции. Для этого в ИА реализована система сенсоров, отвечающих за получение входных данных и генерацию набора сигнатур, который передается ИА через агенты-акторы: температура воздуха (airtemp), температура почвы (soiltemp), влажность воздуха (airhum), влажность почвы (soilhum) и скорость ветра (windspeed). Акторы рассылают сигнатуры в качестве сообщения концептуальным агентам-нейронам, отвечающим за выполнение функции концептуализации наблюдаемой среды на основе потоков входных данных. В работах [16, 17] показано, что, благодаря способности агентов-нейронов заключать мультиагентный алгоритм в нейрокогнитивной архитектуре динамически строится интерпретация семантики некоторого объекта или события. Таким образом, при получении данных с метеостанции, акторы отправляют измеренные показания так называемым нейронным фабрикам (нейрофабрикам), предназначенным для создания агентов-нейронов, которые являются обработчиками нового знания [18]. Например, при измерении температуры воздуха, актор airtemp отправляет сообщение на нейрофабрику концептуальных агентов, которая порождает агентов-нейронов «воздух» и «температура», а числовое значение поступает на нейрофабрику числительных, которая создает агента-нейрона с этим значением. Агенты-нейроны «температура» и «воздух» для закрытия своих валентностей отправляют информацию на нейрофабрику агентов-действия, которая порождает агента «измерен» и на нейрофабрику событийных агентов для создания агента-события «температура воздуха измерена». В процессе выполнения такого алгоритма происходит заключение мультиагентных контрактов между всеми участниками. Пример мультиагентного алгоритма получения данных приведен на рис. 5. Стоит отметить, что агент-событие должно заключить контракт не только с агентом-числительным, но и с соответствующими временным и локативным агентами, то есть заполнить валентности «где событие произошло» и «когда событие произошло».

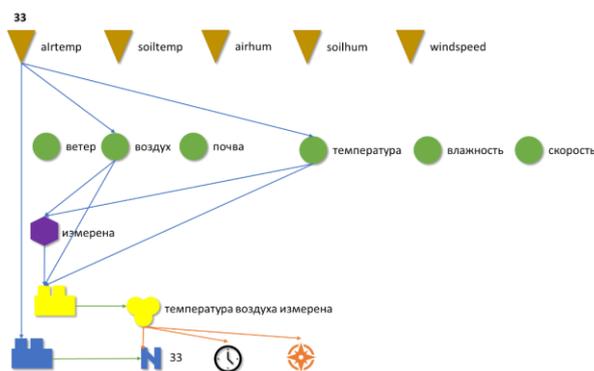


Рис. 5. Мультиагентный алгоритм сбора данных с метеостанции

Кроме метеоданных, ИА может отслеживать и параметры посевов: засеянная культура, удельная урожайность и информация о заболеваниях растений и распространении сорняков и вредителей. Эти данные позволяют ИА строить взаимосвязи

между погодными условиями и возможными угрозами для растений, а в дальнейшем прогнозировать заражения посевов и результирующую урожайность. В качестве основы системы прогнозирования выступает система построения причинно-следственных связей [19, 20]. Любое событие, которое привело к созданию агента-события рассматривается как событие-причина, для которой нужно найти событие-следствие. При этом известно, что событие-причина всегда предшествует событию-следствия. Для того, чтобы агенту-событию найти свои причины и следствие он делает рассылку сообщений вида «Почему? - Поэтому?» и ждет ответа от других агентов-событий. Событие-причина и событие-следствие представлены агентами-нейронами, каждый из которых обладает знаниями, описывающими соответствующую причинно-следственную зависимость. Эти агенты при повторяемости причины и следствия объединяют свои части знаний путем заключения мультиагентного контракта. Подобный подход позволяет ИА строить причинно-следственные связи между событиями. Например, при измерении температуры было сгенерировано событие «температура воздуха измерена» с контрактами к соответствующему числительному, локации и времени (рис. 6). Затем, через некоторое время пользователь регистрирует появление сорняка и отправляет информацию в систему принятия решений, в результате чего создается событие «обнаружен сорняк». Затем, так как события произошли друг за другом (и такая пара событий происходит неоднократно), между этими событиями появляется причинно-следственная связь.

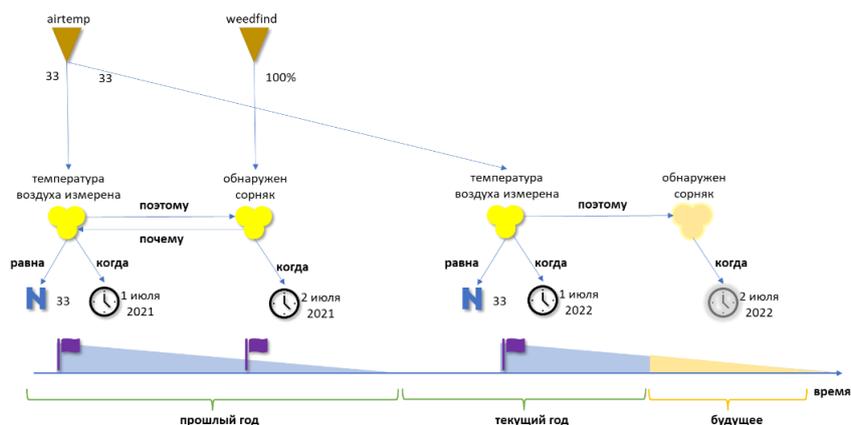


Рис. 6. Процесс создания причинно-следственной связи в мультиагентной архитектуре ИА

Таким образом, ИА ставит в соответствие определенным условиям внешней среды (в примере температура воздуха равна 33 градусам) некоторое событие (обнаружен сорняк). В следующий раз, когда с датчика температуры воздуха придёт подобное сообщение, ИА может спрогнозировать появление события «обнаружен сорняк» за событием измерения температуры.

Тестирование мультиагентного алгоритма проводилось в САПР ИА, скриншот редактора которого приведен на рис. 7.

Применение подобной архитектуры позволит не только прогнозировать возникновение опасных условий внешней среды, но и предлагать методы превентивной защиты посевов от возможных угроз.

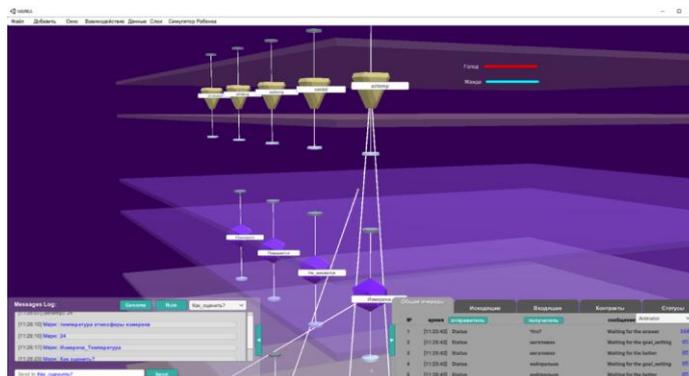


Рис. 7. Скриншот редактора интеллектуального агента в процессе сбора данных с метеостанции

Выводы. В рамках данного исследования разработан мультиагентный алгоритм прогнозирования состояния посевов по данным с метеостанции на основе самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры. Сбор данных осуществлялся с помощью метеостанции «ПогодаВПоле», основными функциями которой являются сбор данных о погоде на любом расстоянии без выезда в поле, автоматический расчет сумм активных температур, хранение истории и предоставление отчетности и графиков за любой промежуток времени. Приведено описание структурной схемы метеостанции и датчиков. Разработан алгоритм программы для сбора и обработки данных с датчиков метеостанции. В результате обработки в интеллектуальную систему принятия решений отправляются данные о температуре воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, скорости и направлении ветра, количестве осадков и о сумме активных температур. Описана система построения причинно-следственных связей, на основе которой строится система прогнозирования, которая позволяет в превентивном порядке делать рекомендации или прогнозы по урожайности и состоянию посевов, а также по вероятности заболеваний и распространения вредителей на контролируемых посевах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанов А.С. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои) // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24, № 6. – С. 125-133. – DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.015.
2. Клещенко А. Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В. Спутниковый мониторинг состояния и продуктивности посевов зерновых культур // Тр. ВНИИСХМ. – 2013. – Вып. 38. – С. 54-70.
3. Sharpley A.N.; Williams J.R. The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC). Technical bulletin (United States. Department of Agriculture). – No. 1768. – 235 p.
4. Сладких Л.А., Сапрыкин Е.И., Захватов М.Г., Сахарова Е.Ю. Технология мониторинга состояния посевов по данным дистанционного зондирования Земли на юге Западной Сибири // GEOMATICS. – 2016. – № 2. – С 39-48.
5. Iizumia T., Shinb Y., Kima W., Kimb M., Choib J. Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble // Climate Services. – 2018. – Vol. 11. – P. 13-23. – <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.06.003>.
6. Shashank V., Thomas K., Sangram V., Auroop G., Ganguly R. Data science for weather impacts on crop yield // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2020. – <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00052>.
7. Bulletins and Publications. European Commission Joint Research Center. – Режим доступа: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-.Publications>.

8. *Загоровская В.* Сам себе метеоролог. Погода с полей: зачем хозяйства обзаводятся метеостанциями // *Агротехника и технологии.* – 2020. – № 5. – <https://www.agroinvestor.ru/agrotechnika/81/>.
9. Погода в поле. – Режим доступа: <https://погодавполе.рф>.
10. *Нагоев З.В., Шуганов В.М., Бжыхатлов К.Ч., Заммоев А.У., Иванов З.З.* Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* – 2021. – № 6 (104). – С. 155-165. – DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165>.
11. *Бжыхатлов К.Ч., Унагасов А.А.* Программа для подключения беспроводных метеостанций к интеллектуальной системе принятия решений / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021665983, 06.10.2021.
12. *Нагоев З.В.* Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013. – 213 с.
13. *Нагоев З.В., Бжыхатлов К.Ч., Пишенокова И.А., Нагоева О.В., Сундуков З.А., Аталиков Б.А., Чеченова Н.А., Малышев Д.А.* Автономный синтез пространственных онтологий в системе принятия решений мобильного робота на основе самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* – 2020. – № 6 (98). – С. 68-79. – DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79>.
14. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture // *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012: Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series.* – Springer, 2012. – P. 247-248.
15. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Cognitive Systems Research.* – Elsevier, 2021. – Vol. 66. – P. 82-88.
16. *Nagoev Z., Nagoeva O., Pshenokova I., Bzhikhatlov K., Gurtueva I., Kankulov S.* Multiagent neurocognitive models of the processes of understanding the natural language description of the mission of autonomous robots // *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2021: Proceedings of the 12th Annual Meeting of the BICA Society. Studies in Computational Intelligence, volume XVI, 625 Cham, Switzerland: Springer Nature, 2022.* – ISSN: 1860-949X.
17. *Gurtueva I., Nagoeva O. and Pshenokova I.* Speech recognition algorithm for natural language management systems under variety of accents // *E3S Web of Conferences.* – 2020. – Vol. 164, 10015. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016410015>.
18. *Пишенокова И.А., Сундуков З.А.* Разработка имитационной модели сценарного прогнозирования поведения интеллектуального агента на основе инварианта рекурсивной мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* – 2020. – № 6 (98). – С. 80-90. – DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-6-98-80-90>.
19. *Nagoev Z., Pshenokova I., Anchekov M.* Model of the reasoning process in a multiagent cognitive system // *Procedia Computer Science.* – 2020. – Vol. 169. – P. 615-619. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.202>.
20. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., and Kankulov S.* Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Journal of Physics: Conference Series (JPCS) 2131 (2021) 022103.* – DOI:10.1088/1742-6596/2131/2/022103.

REFERENCES

1. *Stepanov A.S.* Prognozirovanie urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli (na primere soi) [Forecasting crop yields based on Earth remote sensing data (on the example of soybeans)], *Vychislitel'nye tekhnologii* [Computational technologies], 2019, Vol. 24, No. 6, pp. 125-133. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.015.
2. *Kleshchenko A.D., Virchenko O.V., Savitskaya O.V.* Sputnikovyy monitoring sostoyaniya i produktivnosti posevov zernovykh kul'tur [Satellite monitoring of the state and productivity of grain crops], *Tr. VNIISKhM* [Proceedings of VNIISHM], 2013, Issue 38, pp. 54-70.
3. *Sharpley A.N.; Williams J.R.* The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC). Technical bulletin (United States. Department of Agriculture), No. 1768, 235 p.

4. Sladkikh L.A., Saprykin E.I., Zakhvatov M.G., Sakharova E.Yu. Tekhnologiya monitoringa sostoyaniya posevov po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli na yuge Zapadnoy Sibiri [Technology for monitoring the state of crops according to remote sensing of the Earth in the south of Western Siberia], *GEOMATICS* [GEOMATICS], 2016, No. 2, pp. 39-48.
5. Iizumia T., Shinb Y., Kima W., Kimb M., Choib J. Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble, *Climate Services.*, 2018, Vol. 11, pp. 13-23. – <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.06.003>.
6. Shashank V., Thomas K., Sangram V., Auroop G., Ganguly R. Data science for weather impacts on crop yield, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00052>.
7. Bulletins and Publications. European Commission Joint Research Center. Available at: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications>.
8. Zagorovskaya V. Sam sebe meteorolog. Pogoda s poley: zachem khozyaystva obzavodyatsya meteostantsiyami [Himself a meteorologist. Weather from the fields: why farms acquire weather stations], *Agrotehnika i tekhnologii* [Agrotechnics and technologies], 2020, No. 5. Available at: <https://www.agroinvestor.ru/agrotehnika/81/>.
9. Pogoda v pole [Weather in the field]. Available at: <https://pogodavpole.rf>.
10. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch., Zammoev A.U., Ivanov Z.Z. Perspektivy povysheniya proizvoditel'nosti i effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva s primeneniem intellektual'noy integrirovannoy sredy [Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production using an intelligent integrated environment], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2021, No. 6 (104). pp. 155-165. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165>.
11. Bzhikhatlov K.Ch., Unagasov A.A. Programma dlya podklyucheniya besprovodnykh meteostantsiy k intellektual'noy sisteme prinyatiya resheniy [Program for connecting wireless weather stations to an intelligent decision-making system], Certificate of registration of the computer program No. 2021665983, 06.10.2021.
12. Nagoev Z.V. Intellektika, ili myshlenie v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nal'chik: Izd-vo KBNTS RAN, 2013, 213 p.
13. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Sundukov Z.A., Atalikov B.A., Chechenova N.A., Malyshev D.A. Avtonomnyy sintez prostranstvennykh ontologiy v sisteme prinyatiya resheniy mobil'nogo robota na osnove samoorganizatsii mul'tiagentnoy neyrokognitivnoy arkhitektury [Autonomous synthesis of spatial ontologies in the decision-making system of a mobile robot based on self-organization of multi-agent neurocognitive architecture], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2020, No. 6 (98), pp. 68-79. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79>.
14. Nagoev Z.V. Multiagent recursive cognitive architecture, *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012: Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series*. Springer, 2012, pp. 247-248.
15. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures, *Cognitive Systems Research*. Elsevier, 2021, Vol. 66, pp. 82-88.
16. Nagoev Z., Nagoeva O., Pshenokova I., Bzhikhatlov K., Gurtueva I., Kankulov S. Multiagent neurocognitive models of the processes of understanding the natural language description of the mission of autonomous robots, *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2021: Proceedings of the 12th Annual Meeting of the BICA Society. Studies in Computational Intelligence, volume XVI, 625 Cham, Switzerland*: Springer Nature, 2022. ISSN: 1860-949X.
17. Gurtueva I., Nagoeva O. and Pshenokova I. Speech recognition algorithm for natural language management systems under variety of accents, *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 164, 10015. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016410015>.
18. Pshenokova I.A., Sundukov Z.A. Razrabotka imitatsionnoy modeli stsenarnogo prognozirovaniya povedeniya intellektual'nogo agenta na osnove invarianta rekursivnoy mul'tiagentnoy neyrokognitivnoy arkhitektury [Development of a simulation model for scenario prediction of the behavior of an intelligent agent based on the invariant of a recursive multi-agent neurocognitive architecture], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2020, No. 6 (98), pp. 80-90. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-6-98-80-90>.

19. Nagoev Z., Pshenokova I., Anchekov M. Model of the reasoning process in a multiagent cognitive system, *Procedia Computer Science*, 2020, Vol. 169, pp. 615-619. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.202>.
20. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., and Kankulov S. Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures, *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)* 2131 (2021) 022103. DOI:10.1088/1742-6596/2131/2/022103.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор С.Ш. Рехвиашвили.

Пшенокова Инна Ауесовна – Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН; e-mail: pshenokova_inna@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел: +79094901949; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Интеллектуальные среды обитания».

Бжихатлов Кантемир Чамалович – Кабардино-Балкарский научный центр РАН; e-mail: haosit13@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел., факс: +79631663448; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Унагасов Алим Ахмедханович – e-mail: alim.unagasov@mail.ru; тел.: +79054372450; стажер-исследователь лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Абазоков Мухамед Адмирович – e-mail: abazokov1997@mail.ru; тел.: +79631673421; стажер-исследователь лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Pshenokova Inna Auesovna – Institute of Computer Science and Problems of Regional Management, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: pshenokova_inna@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: +79094901949; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Intellektual'nyye sredy obitaniya».

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich – Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center «Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»; e-mail: haosit13@mail.ru; Nalchik, Russia; phone, fax: +79631663448; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Unagasov Alim Ahmedhanovich – e-mail: alim.unagasov@mail.ru; phone: +79054372450; research assistant of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Abazokov Muhammed Admirovich – e-mail: abazokov1997@mail.ru; phone: +79631673421; research assistant of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

УДК 681.51

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-101-109

И.С. Тренёв

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА ВДОЛЬ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ С ПОМОЩЬЮ СУБОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ С H_2/H_∞ -КРИТЕРИЕМ

Целью данной работы является построение субоптимального регулятора с H_2/H_∞ -критерием, стабилизирующего отклонение динамической системы от заданной программной траектории. Предполагается, что на один вход системы будет подаваться импульсное возмущение, а на второй – L_2 -возмущение. Рассматриваемая H_2/H_∞ -норма равняется максимальному значению L_2 -нормы выхода по всем L_2 -возмущениям и векторам импульсного возмущения, для которых сумма квадратичной формы вектора импульсного возмущения с заданной весовой матрицей и квадрата L_2 -нормы второго возмущения не превосходит единицу. В работе реализуется процесс вычисления H_2/H_∞ -нормы в терминах линейных матричных неравенств для динамической системы. Важную роль в процессе сочетания H_2 -нормы и H_∞ -нормы в H_2/H_∞ -норме выполняет весовая матрица, входящая в определение данной нормы. Стоит отметить, что в отличие от H_∞ -нормы, H_2/H_∞ -норма достигается в смысле наилучшего L_2 - и импульсно-