

**ИСКЕНДЕРОВА СЕВИЛЬ АФЛАТЫН**

Национальная Авиационная Академия, Баку, Азербайджан

e-mail: isgandarova91@gmail.com

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЕЙ НА БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

В последние десятилетия беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны стали повсеместной и неотъемлемой частью нашей жизни. Они проявляются в большом разнообразии в самых различных приложениях для экономических, коммерческих, развлекательных, военных и академических целей. Это связано с технологическими тенденциями и быстрым прогрессом в области управления, миниатюризации и компьютеризации, кульминацией которых являются безопасные, легкие, надежные, более доступные и экономичные БПЛА.

В статье рассматриваются вопросы применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в промышленности в целом, так и в отдельных её отраслях. Также более подробно описана эксплуатация беспилотных летательных аппаратов в авиации. Рассмотрены проблемы, существующие на сегодняшний день в этой сфере, а также методы решения этих проблем с помощью беспилотных технологий. Объяснена важная взаимосвязь между системой автоматического управления и ее интеграцией в беспилотные летательные аппараты. Подробно описывается техническая составляющая дрона, а также взаимосвязь между каждым звеном технических средств автоматизации. Приведен пример программного обеспечения, посредством которого осуществляется управление беспилотных летательных аппаратов. Дополнительно рассматриваются сценарии применения, потенциальные проблемы и проблемы безопасности. Наконец, определяются будущие направления исследований для дальнейшего совершенствования исследовательской работы. Мы считаем, что могут служить руководством и мотивацией для дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** дрон (БПЛА), планирование пути, аккумуляторы, зарядка, приложения, робототехника, автоматизация, система автоматического управления, математическая модель.

**ИСКЕНДЕРОВА СЕВИЛЬ АФЛАТЫН**

Ұлттық Авиация Академиясы, Баку, Әзірбайжан

e-mail: isgandarova91@gmail.com

**АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ МЕН ОНЫҢ ҰШҚЫШСЫЗ  
ҰШУ АППАРАТТАРЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЦИЯСЫ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС**

Соңғы онжылдықтарда ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) немесе дрондар біздің өміріміздің кең таралған және ажырамас бөлігіне айналды. Олар экономикалық, коммерциялық, ойын-сауық, әскери және академиялық мақсаттарға арналған әртүрлі қосымшаларда үлкен әртүрлілікте көрінеді. Бұл қауіпсіз, жеңіл, сенімді, қол жетімді және үнемді ұшқышсыз ұшу аппараттарымен аяқталатын басқару, миниатюризация және компьютерлендіру саласындағы технологиялық тенденциялар мен жылдам прогреске байланысты.

Мақалада жалпы өнеркәсіпте де, оның жекелеген салаларында да ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) қолдану мәселелері қарастырылады. Сондай-ақ авиациядағы ұшқышсыз ұшу

аппараттарының жұмысы толығырақ сипатталған. Бүгінгі таңда осы саладағы проблемалар, сондай-ақ осы мәселелерді ұиқышсыз технологиялармен шешу әдістері қарастырылды. Автоматты басқару жүйесі мен оның ұиқышсыз ұшу аппараттарына интеграциясы арасындағы маңызды байланыс түсіндірілді. Ұиқышсыз ұшақтың техникалық компоненті, сондай-ақ автоматтандырудың техникалық құралдарының әр буыны арасындағы байланыс егжей-тегжейлі сипатталған. Ұиқышсыз ұшу аппараттарын басқару жүзеге асырылатын бағдарламалық жасақтаманың мысалы келтірілген. Қосымша қолдану сценарийлері, ықтимал мәселелер және қауіпсіздік мәселелері қарастырылады. Соңында зерттеу жұмысын одан әрі жетілдіру үшін болашақ зерттеу бағыттары анықталады. Біз әрі қарайғы зерттеулерге басшылық пен мотивация бола аламыз деп санаймыз.

**Түйін сөздер:** дрон (ұиқышсыз ұшу аппараттары), жолды жоспарлау, батареялар, зарядтау, қолданбалар, робототехника, автоматтандыру, автоматты басқару жүйесі, математикалық модель.

### ISGANDAROVA SEVIL AFLATIN

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan  
e-mail: isgandarova91@gmail.com

## RELATIONSHIP BETWEEN THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM AND ITS INTEGRATION ON UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES.

*In the last decade, unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones have become a ubiquitous and integral part of our lives. They appear in great variety in a wide variety of applications for economic, commercial, entertainment, military and academic purposes. This is due to technological trends and rapid advances in control, miniaturization and computerization, culminating in safer, lighter, more reliable, more accessible and cost-effective UAVs.*

*The article discusses the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) both in industry as a whole and in its individual branches. The operation of unmanned aerial vehicles in aviation is also described in more detail. The problems that exist today in this area, as well as methods for solving these problems using unmanned technologies, are considered. The important relationship between the automatic control system and its integration into unmanned aerial vehicles is explained. The technical component of the drone is described in detail, as well as the relationship between each link of technical automation equipment. An example of software through which unmanned aerial vehicles are controlled is given. Additionally, application scenarios, potential problems, and security issues are discussed. Finally, future research directions are identified to further improve the research work. We believe that they can provide guidance and motivation for further research.*

**Key words:** drone (UAV), path planning, batteries, charging, applications, robotics, automation, automatic control system, mathematical model.

**Введение.** Современная авиация на нынешнем этапе её развития находится в состоянии интенсивного совершенствования и развития. С одной стороны, это связано с расширением спектра стратегических и тактических мер, продиктованного освоением околоземного космического пространства.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны, широко используются и за последнее десятилетие привлекли к себе значительное внимание ученых. Большинство исследований посвящено мультикоптерам из-за простоты их механизмов управления и высокой точности позиционирования. Сообщается также

о других типах БПЛА, но количество этих исследований сравнительно невелико. Существует несколько ограничений на практическое внедрение БПЛА в различных сценариях применения. Одним из них является продолжительность полета, ограниченная из-за питания, обеспечиваемого батареями. Эту проблему можно решить за счет разработки различных типов батарей с использованием гибридных систем или двигателей внутреннего сгорания. Еще одним перспективным решением является док-станция, которая может заряжать или заменять аккумуляторы, хранить и даже выполнять задачи связи с БПЛА [1]. Док-станции могут решить проблему долговечности аккумуляторов и поставить БПЛА на шаг впереди в области автономных систем.

Сегодня во всем мире стремительно развиваются технологии, в том числе автоматизация, технологические прорывы в индустриализации и в отраслях, которые с ней связаны позволяют смотреть по-новому на существующие проблемы и решить их новыми современными и актуальными способами. Беспилотные технологии настолько универсальны, что могут решить достаточно много задач в различных отраслях, таких как: транспорт, телекоммуникации, энергоэффективность, геодезия, нефтегазовая отрасль, оперативное страхование и т.д.

На данный момент существуют системы контроля ПДК (предельно допустимой концентрации), позволяющие осуществлять эффективный и непрерывный контроль превышения ПДК вредных веществ в воздушном пространстве на больших территориях, не подвергая при этом опасности жизнь и здоровье людей – создание автоматизированной системы для мониторинга вредных веществ на базе беспилотного летательного аппарата. Быстрая и достаточно легкая замена контрольно-измерительных приборов обеспечивает адаптивность БПЛА для исследования различных загрязнителей [4]. Конечная цель развития программы — формирование конкурентоспособной отрасли беспилотных авиационных систем с выходом на лидирующие мировые позиции.

Основными факторами актуальности автоматизированной системы мониторинга на базе БПЛА являются:

- высокая скорость проведения;
- большая зона покрытия;
- возможность работы в автономном режиме в ограниченной зоне радиообмена.

**Цель исследования.** БПЛА относятся к пилотируемым летательным аппаратам, которые выполняют несколько задач без помощи человека. Ими можно управлять удаленно с помощью различных электронных устройств, таких как микропроцессоры и датчики [6]. БПЛА могут выполнять автономные операции в районах, где присутствие человека опасно для его здоровья.

Цель исследования – повышение эффективности процессов воздушного контроля и измерений за счет разработки и применения автоматизированной системы на базе беспилотного летательного аппарата. Внедрение дронов решает ряд проблем в авиации. Беспилотные технологии являются неотъемлемой частью технологического прорыва в промышленности и конкретно в сфере автоматизации. Использование дронов без систем автоматизации обеспечило бы меньший прирост эффективности в используемых отраслях, поскольку ручное управление сразу подразумевает ошибки, связанные с человеческим фактором, что привело бы к снижению эффективности

выполнения поставленных задач. Следовательно, при использовании дронов можно выявить взаимосвязь между эффективностью дрона, то есть его значимостью, и его системой автоматизации. При этом, чем выше качество, стабильность и точность системы автоматизации, тем выше эффективность использования дрона [6].

Сегодня в мире существует множество различных разработок систем автоматического управления дроном как самолетного типа, так и мультироторного. Системы автоматического управления дроном в основном направлены на автоматический полет по определенному маршруту и стабилизацию в пространстве. Стабилизация в пространстве означает управление положением беспилотного летательного аппарата относительно пространственных углов тангажа, крена и рыскания. В литературе их можно встретить как углы Крылова или углы Эйлера. Автоматический полет по маршруту, в свою очередь, подразумевает позиционирование или преодоление определенной точки пространства с координатами  $x, y, z$  или точки с определенной широтой, долготой и высотой. Системы автоматического управления (САУ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) принципиально делятся на 2 категории – мультироторного БПЛА (квадрокоптеры, октокоптеры, трикоптеры и т.д.) и БПЛА с неподвижным крылом, т.е. самолетного типа. Как правило, САУ БПЛА в большинстве случаев являются адаптивными, имеют несколько внутренних перекрестных связей и основаны на принципе регулирования по углу, угловой скорости и угловому ускорению.

Для процесса управления полетом дрона по заданной траектории целесообразно включить изменение скорости вращения двигателей (что также является изменением тяги двигателей) –  $u_1 \dots, 4$ . В качестве управляемого возмущения целесообразно включить вес коптера  $f_2$ . Все остальные входные воздействия, кроме управляющего воздействия и управляемого возмущения  $f_1$ , будут относиться к неуправляемым возмущениям.

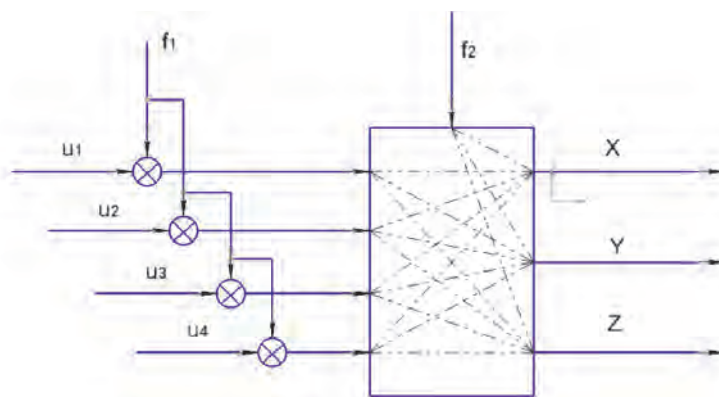


Рисунок 1 – Структурная схема квадрокоптера как объекта управления

Материалом исследования являются технологические процессы и стандарты в области контроля и измерения воздуха. Исследование проводится на базе квадрокоптера (рис. 2).



*Рисунок 2*

**Классификация и описание математической модели.** БПЛА бывают самых разных характеристик, оборудования, размеров, дальностей и форм. Существуют различные типы БПЛА: с неподвижным крылом, с одним винтом, гибридный с неподвижным крылом и мультикоптер [31]. БПЛА с неподвижным крылом состоят из основного корпуса, крыльев, пропеллера и двигателя.

БПЛА с неподвижным крылом – это беспилотные летательные аппараты, которые часто используются для аэрофотосъемки и проверки линий электропередачи. Такие БПЛА не способны зависать или летать вперед. Однако производство одновинтовых БПЛА обходится дорого и требует профессиональной подготовки. Эти беспилотные летательные аппараты механически сложны и чувствительны к препятствиям, таким как вибрация. В сравнении с ними мультироторные БПЛА являются наиболее доступными и простыми в сборке. Эти беспилотные летательные аппараты часто используются для фото- и видеонаблюдения. Квадрокоптеры являются наиболее часто используемыми БПЛА. Они завоевали популярность благодаря своей вертикальной посадке или быстрой маневренности, низкой стоимости и компактным размерам.

Математическая модель объекта управления – дрона [2] – основана на законах физики. На квадрокоптер влияют такие физические аспекты, как аэродинамика, моменты инерции, крутящий момент, гравитация и гироскопический эффект. Ниже представлена таблица с физическими эффектами, возникающими во время полета дрона. Вращение твердого тела в пространстве можно параметризовать с помощью нескольких методов, таких как углы Эйлера, углы кватернионов и углы Тейта-Брайана. Дрон движется в пространстве за счет результирующего вектора направления, который, в свою очередь, зависит от скорости вращения каждого из четырех двигателей. Двигатели создают тягу и крутящий момент относительно центра масс конструкции дрона. В аэрокосмической технике оси направлены так же, как у самолета, движущегося в положительном направлении  $x$ : правая сторона соответствует положительному направлению  $y$ , а вертикальная сторона соответствует положительному направлению  $z$ .

На основе законов физики и матриц вращения были выведены математические зависимости и законы управления, которые стали в основной математической модели, собранной в среде Matlab Simulink. Модель включает уравнения движения в пространственных координатах и углах.

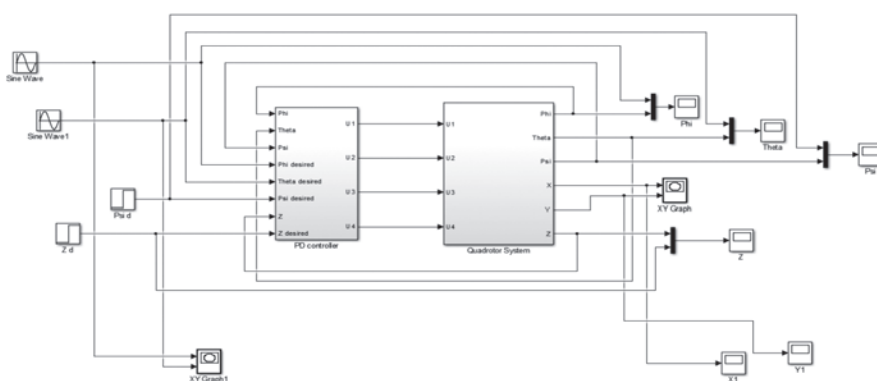


Рисунок 3 – Математическая модель квадрокоптера, собранная в среде Simulink Matlab

В рамках идентификации математической модели был проведен ряд активных экспериментов на собранном рабочем прототипе, а также активный эксперимент по получению аэродинамических характеристик воздушных винтов [5]. В результате эксперимента были получены аэродинамические характеристики винтов.

### Результаты исследования и обсуждение

На сегодняшний день система управления беспилотными летательными аппаратами для автоматизации контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве может быть представлена следующими участниками: БПЛА, оператор, диспетчер на удаленной части, диспетчер на наземной части; блок записи данных на SD-карту, блок измерения показаний окружающей среды (относительная влажность, температура, атмосферное давление), блок GPS/ГЛОНАСС.

Оператор должен настроить и откалибровать датчики «на земле», а затем управлять БПЛА напрямую, вручную или автоматически, согласно программе полета. Сбор данных должен иметь возможность осуществляться как в виде непрерывного процесса (с максимально возможной частотой самого «медленного» датчика), так и через заданный интервал времени. Анализ полученных данных от датчиков, установленных на БПЛА, осуществляется как непосредственно в процессе управления, используя показания с пульта оператора, так и после полета, на основе записей с SD-карты [1].

Для изучения полученных данных в настоящее время существует ряд программ, предназначенных для автоматизированной обработки информации по результатам мульти- и гиперспектральных съемок в интересах изучения состояния компонентов окружающей среды. Они включают набор процедур предварительной коррекции, преобразования и различные методы классификации, включая объектно-ориентированную сегментацию изображений в сочетании с геоинформационными технологиями.

Рабочий прототип квадрокоптера был собран на базе полетного контроллера Pixhawk, бесщеточных электродвигателей постоянного тока, GPS-навигатора, радиотелеметрического комплекта и регуляторов оборотов двигателя [3].

Контроллер полета включает в себя встроенный гироскоп, акселерометр, компас и барометр. В качестве контроллера полета на борту дрона можно использовать та-



кой контроллер, как Pixhawk. Pixhawk — это новая усовершенствованная система автопилота, основанная на проекте PX4 с открытым исходным кодом и созданная 3d Robotics. Среди основных преимуществ — быстрый, мощный 32-битный процессор и датчики от известной компании ST Microelectronics® и операционная система реального времени NuttX, обеспечивающая невероятную производительность, гибкость и надежность при управлении любым автономным устройством. Преимуществами платы Pixhawk являются встроенная многопоточность, Unix/Linux-подобная среда и совершенно новые функции автопилота. Основной модуль Pixhawk может быть расширен дополнительными опциями, такими как цифровой датчик воздушной скорости, поддержка внешних разноцветных светодиодных индикаторов, внешний компас и т.д. В роли датчика будет выступать GPS, который будет предоставлять информацию о геопозиции дрона и дополнительно отслеживать высоту его полета. Ublox NEO — модуль M8N с компасом.

Двигатели — один из основных приводов на борту дрона. Дроны и все БПЛА используют бесколлекторные (бесщеточные) трехфазные двигатели постоянного тока. При их подборе следует обратить внимание на их номинал, а именно количество оборотов в вольтах (KV), диаметр статора и ротора в данном случае равен 2213. Двигатели в первую очередь следует подбирать с охлаждением, чтобы они не изнашивались, как можно меньше перегревались и могли бы работать более стабильно в жаркую погоду. Также следует выбирать двигатели в зависимости от веса конструкции дрона. Если дрон весит больше, необходимо подбирать двигатели с меньшим KV и большим размером винта, тем самым создавая больший крутящий момент, то есть создавая большую тягу для подъема конструкции дрона. Также следует обратить внимание на двигатели, специально созданные для многовинтовых аппаратов, поскольку между этими двигателями и двигателями, предназначенными для авиационных БПЛА, имеются различия.

Регулятор оборотов двигателя. Имеется небольшая плата с микроконтроллером, который при получении сигнала от полетного контроллера (широко-импульсная модуляция) увеличивает или уменьшает количество оборотов двигателя. Длительность импульса ШИМ варьируется в диапазоне 1-2 микросекунд. При 1 микросекунде двигатель выключается, при 1,5 микросекунде двигатель работает на 50% и при ширине импульса 2 микросекунды двигатель работает на максимальной мощности, совершая максимальное количество оборотов. Регуляторы, как и двигатели, необходимо подбирать в первую очередь под тип дрона; существует значительная разница между регуляторами самолетного и многовинтового типа. На многовинтовых регуляторах рабочая частота составляет не менее 600 Гц, а в самолетах — 400 Гц [6].

**Описание программного обеспечения.** БПЛА способны играть важную роль в задачах обработки данных и решении проблем. Несколько алгоритмов используются для оптимизации, автономности и планирования пути. Эти инструменты могут свести к минимуму человеческую помощь и инфраструктуру, необходимую для различных задач, таких как связь.

Программное обеспечение, установленное на БПЛА, признано важным фактором создания стоимости. Эта концепция сопровождала расширение отраслей и компаний, производящих программное обеспечение. В число этих компаний входят Skyworks

Aerial System (США), SkyWards (США), RedBird (Франция), PIX4D (Швейцария), MapBox (США), DroneDeploy (США), DEDrone (Германия) и Airware (США).

Программное обеспечение дрона может управляться несколькими программами. Программы для управления дроном называются «наземными станциями», поскольку управление происходит удаленно, и «наземная станция» получает информацию о состоянии дрона со своего борта. Одной из таких программ является Qground Control. В этой программе можно настроить как сам дрон, так и его полетное задание [4]. Это программное обеспечение очень гибкое, так как поддерживается операционными системами Windows, MacOS, Android, IOS, т.е. возможна установка их на мобильные устройства, такие как смартфоны и планшеты.

**Заключение.** Поскольку БПЛА привлекли значительное внимание исследователей, публикуется все больше и больше патентов и научных статей в этой области. Следствием этих инноваций является быстрое расширение исследований и разработок БПЛА. Кроме того, потребность в высокой мобильности, большей автономности и дальности действия БПЛА привела к разработке новых систем замены аккумуляторов, док-станций и точной посадки.

Объяснена важная связь между системой автоматического управления и ее интеграцией в беспилотные летательные аппараты.

Подводя итог, можно сказать, что дроны являются неотъемлемой частью робототехники и автоматизации. Это объясняется тем что, на производительность и качество работы БПЛА влияет его система автоматизации, а именно алгоритмы управления и точность приборов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером //Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник», Россия. МГТУ им. Баумана, 2014.
- 2 Богословский С.В., Дорощев А.Д. Динамика полёта летающих аппаратов. Учебное пособие, Санкт-Петербург 2002.
- 3 Верба В. С. Управление информационными возможностями многофункциональных бортовых радиолокационных комплексов // Радиотехника, №10. 2007. С. 9-13.
- 4 Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А. Оптимизация информационных процессов в автоматизированных системах с распределенной обработкой данных. М.: Технология, 2002. 280 с.
- 5 Ильюшко В.М., Митрахович М.М., Самков А.В., Силков В.И. Беспилотные летательные аппараты: методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик. 2009. 302 с.
- 6 Овечкин М.В., Гедзь А.В. Автоматизация контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве с использованием БПЛА // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 11-2. – С. 266-270.
- 7 Остроух, А.В. Интеллектуальные системы: монография / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 316 с.
- 8 Федоров, Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. –928 с.
- 9 Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В.Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.



10 Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов: учебно-методическое пособие / сост.: Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2012. – 132

#### REFERENCES

1 Guryanov A.E. Modelirovanie upravleniya kvadropteroom /Elektronnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Inzhenernyj vestnik», Rossiya. MGTU im. Baumana, 2014.

2 Bogoslovskij S.V., Dorofeev A.D. Dinamika polyota letayushih apparatov. Uchebnoe posobie, Sankt-Peterburg 2002.

3 Verba V. S. Upravlenie informacionnymi vozmozhnostyami mnogofunkcionalnyh bortovyh radiolokacionnyh kompleksov // Radiotekhnika, №10. 2007. S. 9-13.

4 Balyberdin V.A., Belevcev A.M., Stepanov O.A. Optimizaciya informacionnyh processov v avtomatizirovannyh sistemah s raspredelennoj obrabotkoj dannyh. M.:Tehnologiya, 2002. 280 s.

5 Ilyushko V.M., Mitrahovich M.M., Samkov A.V., Silkov V.I. Bepilotnye letatelnye apparaty: metodiki priblizhennyh raschetov osnovnyh parametrov i harakteristik. 2009. 302 s.

6 Ovechkin M.V., Gedz A.V. Avtomatizaciya kontrolno-izmeritelnyh rabot v vozdušnom prostranstve s ispolzovaniem BPLA // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2021. – № 11-2. – S. 266-270.

7 Ostrouh, A.V. Intellektualnye sistemy: monografiya / A.V. Ostrouh. – Krasnoyarsk: Nauchno-innovacionnyj centr, 2020. – 316 s.

8 Fedorov, Yu.N. Spravochnik inzhenera po ASUTP: Proektirovanie i razrabotka. Uchebno-prakticheskoe posobie / Yu.N. Fedorov. – M.: Infra-Inzheneriya, 2008. –928 s.

9 Harazov, V.G. Integrirovannye sistemy upravleniya tehnologicheskimi processami / V.G. Harazov. – SPb.: Professiya, 2009. – 592 s.

10 Yakubovskaya, E.S. Avtomatizaciya tehnologicheskikh processov: uchebno-metodicheskoe posobie / sost.: E.S. Yakubovskaya, E.S. Volkova. – Minsk: BGATU, 2012. – 132