

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГЛУШЕНИЯ ГРАЖДАНСКОГО ДРОНА

Л.Х. Хачатрян, Т.А. Григорян

Национальный политехнический университет Армении

Развитие современных технологий позволяет беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) успешно выполнять функции, недоступные в прошлом. Они набирают всё большую популярность, применяются в разных сферах деятельности и решают самые разнообразные задачи. Данные устройства для связи с оператором часто используют технологию беспроводных сетей, построенных на основе стандарта IEEE 802.11.

Разработана система для глушения БПЛА, работающих по стандарту IEEE 802.11. Система включает аппаратную часть на основе оборудования NI USRP-2953R и программное обеспечение с использованием программной среды LabVIEW. Глушение БПЛА осуществляется с персонального компьютера. Для глушения при попадании БПЛА в зону видимости оператор должен направить антенну на него, после чего осуществить запуск разработанной программы. Пользователь имеет возможность управлять входными данными и наглядно представить результаты эксперимента.

Разработаны и представлены алгоритмы получения BPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM манипуляций в программной среде LabVIEW.

Приводятся результаты тестирования системы, когда объектами глушения являлись маршрутизатор сети Wi-Fi и квадрокоптер Parrot AR Drone 2.0.

Показана конструкция антенны “волновой канал”. Антенна моделирована с помощью одной из самых мощных современных программ электродинамического моделирования FEKO, которая представляет собой новый подход к проектированию трехмерных сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств. Предложенная методика дает возможность варьировать входными данными, производить расчет и проектирование антенн на заданной частоте. Результаты расчетов выведены в виде графиков. Представлены диаграммы направленности (ДН) указанной антенны в полярной системе координат в плоскостях  $E$  и  $H$ . Вычислена величина главного лепестка ДН по половинной мощности  $2\theta_{0,5}$  и  $2\varphi_{0,5}$ . Приведены зависимости коэффициента стоячей волны и коэффициента усиления в рабочем диапазоне частот 2,41...2,48 ГГц.

**Ключевые слова:** сеть Wi-Fi, беспилотный летательный аппарат, дрон, стандарты 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, манипуляции BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, программная среда LabVIEW, NI USRP-2953R, программный пакет FEKO, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны, коэффициент усиления.

**Введение.** В настоящее время все большее распространение получают беспилотные летательные аппараты. Многообразие сфер применения предполагает использование разных типов БПЛА. Изначально БПЛА

создавались предпочтительно для военных целей, но с развитием технологий они нашли применение в гражданских сферах (наблюдение, доставка товара, аэрофотосъемка, видеосъемка, сельское хозяйство и др.). БПЛА показывают высокую эффективность при выполнении задач разведки и ведения наблюдения. Они могут обладать разной степенью автономности - от управляемых дистанционно до полностью автоматических, а также различаться по конструкции, назначению и множеству других параметров. Системы автоматического управления БПЛА (дрон) в основном нацелены на автоматический полет по конкретному маршруту и на стабилизацию в пространстве. Данные устройства для связи с оператором часто используют технологию беспроводных сетей с использованием стандарта IEEE 802.11 [1].

**Целью работы** является глушение гражданских БПЛА, работающих по стандартам 802.11a, 802.11b, 802.11g и 802.11n, с использованием оборудования NI USRP-2953R и моделированной антенны “волновой канал” с помощью программы FEKO.

**Методы реализации.** Наиболее распространенный метод глушения дрона - это глушение с помощью шумового сигнала высокой мощности. Однако этот метод, с точки зрения выгодного потребления мощности, менее эффективен.

Сети Wi-Fi работают на частотах 2,4 или 5 ГГц. В сетях Wi-Fi используется несколько модификаций стандарта 802.11. В стандарте 802.11a используется частота 5 ГГц, в стандартах 802.11b и 802.11g (совместимость с 802.11b) - 2,4 ГГц, в стандарте 802.11n (совместимость с 802.11a, b, g) - 2,4 или 5 ГГц [2].

В сети Wi-Fi информация передается с помощью кадров. Между соседними кадрами существует временное разделение, что позволяет одновременно обслуживать большое количество пользователей. По этой причине для глушения сети Wi-Fi целесообразно использовать непрерывный манипулированный сигнал.

С целью реализации поставленной задачи для каждой модификации стандарта 802.11 (802.11b, 802.11g, 802.11n) используется сигнал с соответствующей манипуляцией, который передается без временного разделения между кадрами, то есть непрерывно. Для стандартов 802.11b и 802.11g типами манипуляции сигнала являются DBPSK и DQPSK, а для стандарта 802.11n - DBPSK, DQPSK, 16-QAM, 64-QAM. Поскольку мы будем передавать случайные биты и нами не ставится задача осуществления демодуляции сигнала, то нет необходимости использовать типы манипуляций DBPSK, DQPSK. Вместо них используем манипуляции BPSK и QPSK [3,4].

В случае манипуляции BPSK в разработанной программе для получения случайной последовательности битов число итераций цикла берем равным 1, в

случае QPSK – 2, в случае 16-QAM - 4, а в случае 64-QAM - 6. На выходе цикла получаем соответственно 1, 2, 4 и 6 битов.

Как известно, в манипуляции BPSK сигналы  $I/Q$  имеют 2 значения, при QPSK - соответственно 4 значения, при 16-QAM - 16 значений и при 64-QAM - 64 значения.

В разработанной программе значения сигналов  $I/Q$  задаются в виде одномерного массива. В программной среде LabVIEW первому элементу одномерного массива соответствует индекс 0, следовательно, индексы элементов одномерных массивов для BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM соответственно будут 0-1, 0-3, 0-15, 0-63.

Известно, что в двоичной системе координат цифры 0-1, 0-3, 0-15 и 0-63 можно получить соответственно количеству битов 1,2,4 и 6. Нетрудно заметить, что эти цифры соответствуют числу итераций в нашем цикле. После выполнения в программе соответствующих преобразований получаем случайно сгенерированное десятичное число. Таким образом, десятичная цифра на выходе изменяется в интервале 0-1 при BPSK, 0-3 - при QPSK, 0-15 - при 16-QAM и 0-63 - при 64-QAM. Эту случайно изменяющуюся десятичную цифру примем за индекс одномерного массива. В этом случае для каждой манипуляции соответственно получим случайные значения сигналов  $I$  и  $Q$ . Для получения манипулированного  $I/Q$  сигнала использована формула  $\cos(2\pi ft + \varphi) = I \cos(2\pi ft) - Q \sin(2\pi ft)$ . В разработанной программе, произведя соответствующие математические операции, на выходе получаем манипулированный сигнал.

Для передачи сигнала использовано устройство NI USRP-2953R (рис. 1) [5].



Рис.1. Устройство NI USRP-2953R

Лицевая панель разработанной программы представлена на рис. 2.

Для проведения эксперимента производится ввод следующих установок:

- название устройства (NI USRP);
- типы активных антенн (приёмные или передающие);
- коэффициенты усиления (КУ) 0-го и 1-го каналов;

- ширина полосы сигнала;
- тип манипуляции;
- выбор модели устройства (в нашем случае - 2953R);
- несущие частоты 0-го и 1-го каналов.

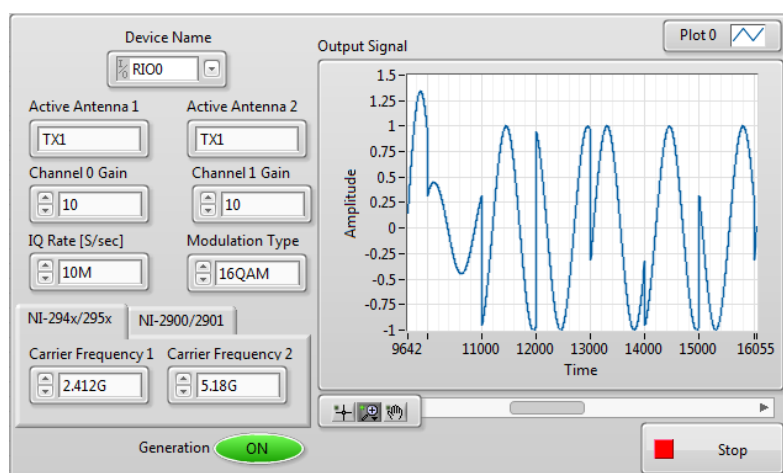


Рис.2. Лицевая панель программы

Сделав соответствующие настройки, осуществляется запуск программы.

Тестирование системы глушения проводилось в два этапа. На первом этапе объектом глушения являлся маршрутизатор сети Wi-Fi. Устройство глушения было оборудовано всенаправленными антеннами. Маршрутизатор сети Wi-Fi работал по стандарту 802.11n, и несущие частоты в момент глушения равны 2,412 ГГц и 5,18 ГГц. Для глушения использовались сигналы с манипуляцией 64-QAM и BPSK. Полоса пропускания сигнала составляла 20 МГц. Мощность передаваемого сигнала в настройках программы была установлена 10 мВт. Расстояние между устройством глушения и маршрутизатором составляло около 20 м. В результате глушения в области диаметром 50 м была нарушена работа сети Wi-Fi.

На втором этапе объектом глушения являлся квадрокоптер Parrot AR Drone 2.0. Квадрокоптер работал по стандарту 802.11g. Рабочая несущая частота квадрокоптера в момент глушения была 2,437 ГГц. Для глушения использовался сигнал с манипуляцией BPSK. Полоса пропускания сигнала составляла 20 МГц. Мощность передаваемого сигнала в настройках программы была установлена 10 мВт. Расстояние между устройством глушения и квадрокоптером составляло около 30 м. В результате глушения прервалась видеотрансляция на пульте управления, и оператор полностью потерял контроль над квадрокоптером.

На основе анализа результатов эксперимента становится ясно, что для увеличения дальности и эффективности глушения необходимо использовать направленную антенну с высоким КУ. В данной работе с использованием программы FEKO [6,7] моделирована антенна типа “волновой канал” (рис.3).

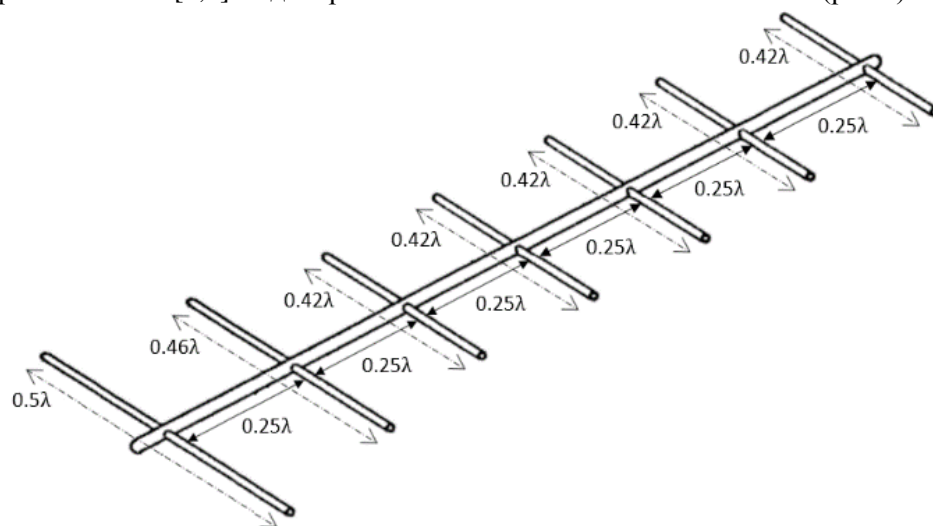


Рис.3. Конструкция моделированной антенны типа “волновой канал”

**Результаты исследования.** На рис. 4-6 представлены визуализированные результаты расчета построенной модели антенны “волновой канал”: нормированная ДН антенны в плоскостях Е и Н и коэффициента стоячей волны (КСВ) от частоты [6,7].

Зависимости КСВ и ДН приведены для диапазона частот 2,41...2,48 ГГц.

Величина главного лепестка ДН по половинной мощности моделированной антенны в плоскости Н для частоты  $f = 2,41$  ГГц равна  $2\theta_{0,5} \approx 40^\circ$ , для  $f = 2,44$  ГГц -  $2\theta_{0,5} \approx 43^\circ$ , для  $f = 2,48$  ГГц -  $2\theta_{0,5} \approx 45^\circ$ ; в плоскости Е для указанных частот получены:  $2\varphi_{0,5} \approx 40^\circ$ ,  $2\varphi_{0,5} \approx 39^\circ$ ,  $2\varphi_{0,5} \approx 36^\circ$ . КУ для указанных частот приблизительно составляет 12 дБ, для всего диапазона КСВ - < 1,6 (рис.4-6). Полученные параметры вполне достаточны для дальнего глушения.

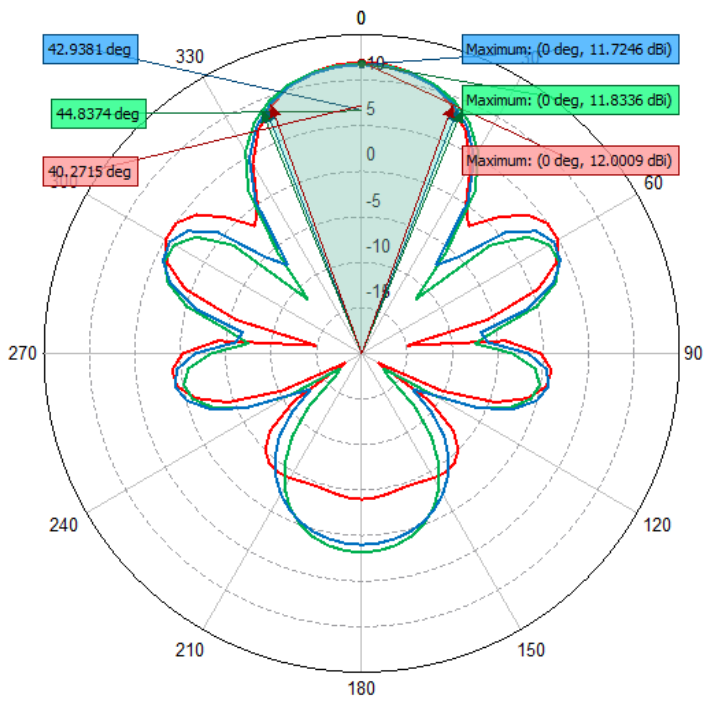


Рис.4. ДН антенны в плоскости H

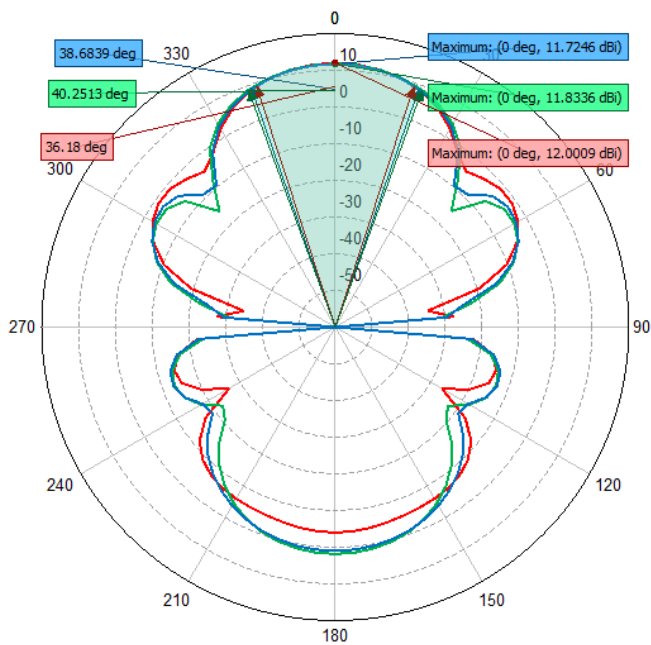


Рис.5. ДН антенны в плоскости E

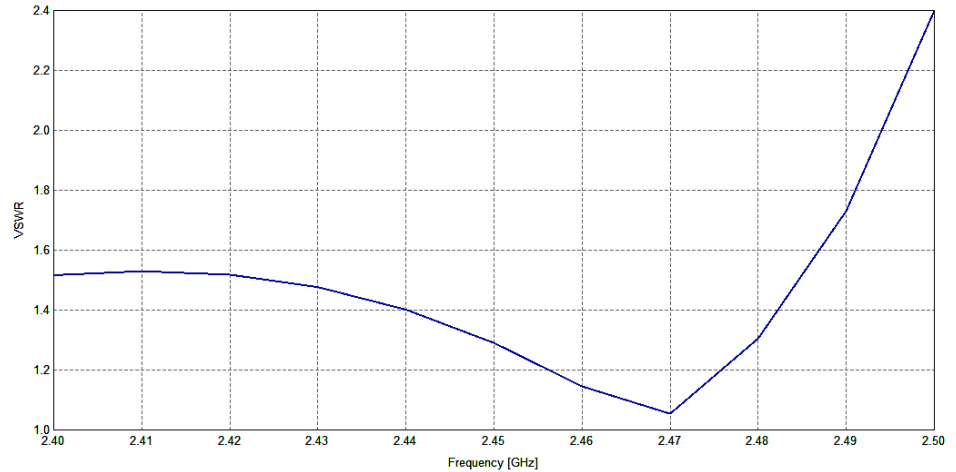


Рис.6. Коэффициент стоячей волны

Разработанная модель антенны “волновой канал” в программной среде FEKO дает возможность варьировать входными данными, производить анализ, расчет и проектирование антенны на заданной частоте, рассчитывать диаграммы направленности и другие характеристики антенны, выполнять анализ обеспечения различных аспектов электромагнитной совместимости.

Для глушения при попадании дрона в зону видимости оператор должен направить антенну на него, после чего осуществить запуск разработанной программы. Антенну можно прикрепить к корпусу в виде формы винтовки. Также на корпусе можно установить оптический прицел, и тогда наведение будет более точным и удобным.

#### **Выводы**

1. Разработана программа глушения БПЛА на базе оборудования компании National Instrument NI USRP-2953R и среды графического программирования LabVIEW.
2. Смоделирована и разработана антенна “волновой канал” рабочего диапазона частот  $2,41 \dots 2,48$  ГГц. Для данной антенны получены: в плоскости Н для частоты  $f = 2,41$  ГГц  $2\theta_{0,5} \approx 40^\circ$ , для  $f = 2,44$  ГГц -  $2\theta_{0,5} \approx 43^\circ$ , для  $f = 2,48$  ГГц -  $2\theta_{0,5} \approx 45^\circ$ ; в плоскости Е для указанных частот получены:  $2\varphi_{0,5} \approx 40^\circ$ ,  $2\varphi_{0,5} \approx 39^\circ$ ,  $2\varphi_{0,5} \approx 36^\circ$ ; КУ  $\approx 12$ дБ; КСВ  $< 1,6$ .
3. Разработанная система может быть использована при решении конкретных задач, связанных с обеспечением безопасности охраняемых объектов.

## Литература

1. **Щербаков В.Б., Ермаков С.А.** Безопасность беспроводных сетей: Стандарт IEEE 802.11. – М.: РадиоСофт, 2010. - 255с.
2. <https://sibac.info/studconf/tech/xlv/60634>
3. Практический курс “Основы передачи ВЧ сигналов”. ni.com/russia
4. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2007.-1104 с.
5. <http://dtsheet.com/doc/1312608/ni-usrp-2953r-specifications>
6. **Elsherbeni Atef Z., Payam Nayeri, Reddy C.J.** Antenna Analysis and design using FEKO Electromagnetic Simulation Software.- SciTech Publishing, 2014.-256 p.
7. **Курушин А.А., Банков С.Е., Грибанов А.Н.** Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием FEKO.- М.: Солон-пресс, 2017.- 412с.

*Поступила в редакцию 11.03.2019.  
Принята к опубликованию 15.05.2019.*

## ՔԱՂԱՑԻԱԿԱՆ ԴՐՈՆԻ ԽԱՆՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

### L.Խ. Խաչատրյան, S.Ա. Գրիգորյան

Ժամանակակից տեխնոլոգիաների զարգացումը թույլ է տալիս, որ անօդաչու թռչող ապարատները հաջողությամբ իրականացնեն գործառույթներ, որոնք հասանելի չէին անցյալում: Դրանք ստանում են լայն տարածում, կիրառվում են գործունեության տարբեր ոլորտներում և լուծում են բազմազան խնդիրներ: Այս սարքերում, օպերատորի հետ կապն իրականացնելու համար, հաճախ օգտագործվում է ըստ IEEE 802.11 ստանդարտի կառուցված անլար ցանցերի տեխնոլոգիան:

Մշակված է IEEE 802.11 ստանդարտով աշխատող անօդաչու թռչող ապարատի խլացման համակարգ: Այն ներառում է NI USRP-2953R սարքավորման հիման վրա կառուցված ապարատային մաս և LabVIEW ծրագրային միջավայրի կիրառմամբ՝ ծրագրային ապահովում, որը նախատեսված է անօդաչու թռչող ապարատի խլացման համար: Դրոնի խլացումն իրականացվում է օգտագործողի համակարգչից և հնարավորություն է ընձեռում նրան՝ կառավարելու մուտքային տվյալները և ակներև ներկայացնելու փորձի արդյունքները: Խլացումն իրականացնելու համար, երբ անօդաչու թռչող ապարատը հայտնվում է տեսանելիության գոտում, օպերատորը պետք է ուղղորդի անտենան դրա ուղղությամբ, այնուհետև կատարի մշակված ծրագրի գործարկումը:

Մշակված և ներկայացված են BPSK, QPSK, 16-QAM և 64-QAM մանիպուլյացիաների ստացման ալգորիթմները LabVIEW ծրագրային միջավայրում:

Բերված են համակարգի թեստավորման արդյունքները Parrot AR Drone 2.0 կվադրոկոպտերի և Wi-Fi ցանցի երթուղիչի դեպքում:

Ներկայացված է «ալիքային ուղի» տիպի անտենայի կառուցվածքը: FEKO ծրագրային միջավայրում մշակված և մոդելավորված «ալիքային ուղի» տիպի անտենան թույլ է տալիս փոփոխել մուտքային տվյալները և կատարել անտենայի հաշվարկ ու նախագծում տրված հաճախականության դեպքում: Հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են

գրաֆիկների տեսքով: Ներկայացված են նշված անտենայի ուղղվածության դիագրամները  $E$  և  $H$  հարթություններում բևեռային կոորդինատային համակարգում: Հաշվարկված է ՈւԴ-ի գլխավոր թերթիկի լայնությունն՝ ըստ կես հզորության՝  $2\theta_{0,5}$ -ը և  $2\varphi_{0,5}$  -ը: Ներկայացված է նշված անտենաների կանգուն ալիքի գործակցի և ուժեղացման գործակցի կախվածությունը  $2,41\dots 2,48$  ԳՀ աշխատանքային հաճախականությունների տիրույթում:

**Առանցքային բառեր.** Wi-Fi ցանց, անօդաչու թռչող ապարատ, դրոն, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n ստանդարտներ, QPSK, 16-QAM, 64-QAM մանիպուլյացիաներ, LabVIEW ծրագրային միջավայր, NI USRP-2953R, FEKO ծրագրային փաթեթ, ուղղվածության դիագրամ, կանգուն ալիքի գործակից, ուժեղացման գործակից:

## DEVELOPING A JAMMING SYSTEM FOR THE CIVIL DRONE

L.Kh. Khachatryan, T.A. Grigoryan

The development of modern technologies allows the unmanned aerial vehicles to successfully perform functions inaccessible in the past. They are gaining increasing popularity, are applied in different areas and solve a variety of tasks. These devices often use the wireless network technology IEEE 802.11. to communicate with the operator.

A system for jamming the UAVs, working by the IEEE 802.11 standard. The system includes hardware based on the NI USRP-2953R equipment, and software using the LabVIEW software environment. The UAV jamming is carried out from a personal computer. For jamming, when an unmanned aerial vehicle enters the zone of visibility, the operator should direct the antenna to hit, after which carry out the launch of the developed program. The user can manage the input data and visualize the results of the experiment.

The derivation of the BPSK, QPSK, 16-QAM and 64-QAM manipulation algorithms in the LabVIEW software environment is developed and presented.

The results of the system testing are given when the objects of jamming were the Wi-Fi network router and the Parrot AR Drone 2.0 quadcopter.

The design of the antenna “Yaggi -Uda” is described. The antenna is modelled by using one of the most powerful modern programs of electrodynamic simulation, the FEKO, which represents a new approach to the design of three-dimensional microwave devices. The proposed method allows varying the input data, calculating and designing the antennae at a given frequency. The calculation results are displayed in the form of graphs. The patterns of the mentioned antenna in the E and H planes in the polar system are presented. The value of the main lobe of the pattern at half power are calculated. The dependences of the standing wave ratio (SWR) and the gain coefficient in the operating frequency range  $2,41\dots 2,48$  GHz are presented.

**Keywords:** Wi-Fi network, unmanned aerial vehicle, drone, 802.11a, 802.11b, 802.11g and 802.11n standards, BPSK, QPSK, 16-QAM and 64-QAM manipulation, LabVIEW software, NI USRP-2953R, software package FEKO, pattern, standing wave ratio, gain.