

Р.Н. Набиев, Г.И. Гараев, Р.Р. Рустамов

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ЕМКОСТНОЕ УСТРОЙСТВО С ДВУМЯ АВТОГЕНЕРАТОРАМИ

Описаны структура, конструкция, установка, функциональные возможности, технические параметры емкостного устройства, применяемого в системах охраны и оповещения периметров объектов, а также схема запатентованного дифференциально-емкостного датчика с двумя автогенераторами, который является частью устройства, по результатам расчета оценивается вероятность обнаружения несанкционированных вторжений с использованием этого устройства. Принцип работы емкостного датчика заключается в преобразовании изменении емкости относительно Земли двух чувствительных элементов, составляющих защитное ограждение, при приближении или прикосновении к ним посторонних лиц в изменение частоты с помощью автогенераторов, а принцип работы емкостного устройства основан на срабатывании сигнализации при превышении установленного предельного значения разности частот генераторов. Показано преимущество схем автогенераторов, построенных на логических элементах в дифференциально-емкостном датчике, к входам которых подключены чувствительные элементы, причем один из них используется как сигнальный, а другой как опорный генератор. Показано, что схемы автогенераторов, построенных на цифровых микросхемах по той же схеме, значительно упрощаются, когда в качестве частотоподающих не используются RLC-элементы с сосредоточенными параметрами и кварцевые резонаторы, а их адаптация к изменениям внешней среды происходит автоматически. Чтобы передать высокочастотные сигналы генераторов на ноутбук, сначала эти сигналы преобразуются в низкочастотные сигналы через делители частоты, которые находятся в частотомерах, затем эти низкочастотные сигналы преобразуются в цифровые сигналы с помощью модуля Arduino Uno. Программное обеспечение, написанное на ноутбуке, вычисляет разницу частот и генерирует сигнал тревоги при определенном значении разности. На основании расчетов отмечена достаточно высокая вероятность обнаружения несанкционированных вторжений на объекты и эффективность использования устройства охраны и оповещения с дифференциально-емкостным датчиком на основе двух автогенераторов в системе авиационной безопасности.

Гражданская авиация; авиационная безопасность; охранно-оповестительная система; дифференциально-емкостной датчик; автогенератор; логический элемент; чувствительный элемент; телефонный полевой кабель.

R.N. Nabiyev, G.I. Garayev, R.R. Rustamov

DIFFERENTIAL-CAPACITORY DEVICE WITH TWO AUTOGENERATORS

The article describes the structure, design, installation, functionality, technical parameters of a capacitive device used in security and warning systems for the perimeters of objects, as well as a circuit of a patented differential-capacitive sensor with two autogenerators, which is part of the device, the probability of detecting unauthorized intrusions is calculated and estimated using the device. The operation of the capacitive sensor is found in the transformations of the change in the capacitance of two sensitive elements relative to the Earth, the possibility of a protective fence, the change in frequency using autogenerators when approaching or touching them on external faces, and the principle of operation of the capacitive device is based on detecting detection when the frequency difference of the autogenerators exceeds the set limit value. The advantage of autogenerators circuits built on logic elements in a differential capacitive sensor is shown, to the inputs of which sensitive elements are connected, one of which is used as a signal, and the other as a reference generator. It is shown that when RLC-elements with lumped parameters and quartz resonators are not used as frequency counters, the circuits of self-oscillators built on digital microcircuits according to the same scheme and their adaptation to changes in the external environment are greatly simplified. happens automatically. To transfer the high frequency signals of the generators to the laptop, first these signals are converted into low frequency signals through

frequency dividers, which are in the frequency counters, then these low frequency signals are converted into digital signals using the Arduino Uno module. The software written on the laptop calculates the frequency difference and generates an alarm at a certain value of the difference. According to the calculations, a rather high probability of detecting unauthorized intrusions on objects and the efficiency of using a security warning device with a differential capacitive sensor based on two self-oscillators in the aviation security system were noted.

Civil aviation; aviation security; security-warning system; differential capacitance sensor; autogenerator; logic element; sensitive element; telephone field cable.

Введение. В настоящее время в гражданской авиации охрана периметра объектов, которая считается превентивной мерой по обеспечению авиационной безопасности, осуществляется в основном с помощью автоматизированных и интегрированных систем охраны и оповещения [1–3]. Оптимальная интеграция нескольких контуров управления в системы охраны и оповещения позволяет разработать эффективный комплекс безопасности [4–7]. Одним из широкоспектрных контуров управления является емкостное устройство с дифференциально-емкостным датчиком, обычно отличающееся долговечностью и надежностью [8–12].

Цель статьи – определить особенности создания и установки охранного устройства с дифференциально-емкостным датчиком с двумя автогенераторами, собранными на цифровых логических элементах, для систем охраны и оповещения периметра.

Задачи исследования. *Емкостное устройство* состоит из двух автогенераторов (АГ1, АГ2), на вход каждого из которых отдельно включены чувствительные элементы (ЧЭ1, ЧЭ2); двух частотомеров (ЧМ1, ЧМ2); двух контроллеров; аккумулятора (АБ) и ноутбука (рис. 1).

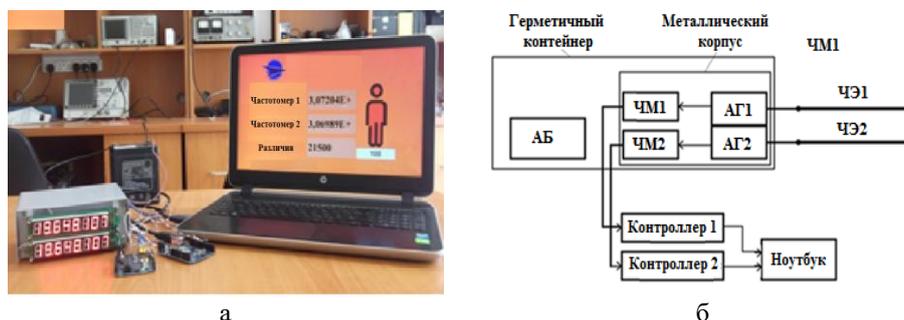


Рис. 1. Устройство емкости: а – общий вид, б – структурная схема

Два автогенератора, к входам которых подключены ЧЭ и один из которых используется как измерительный, а другой как опорный генератор, вместе составляют измерительный преобразователь, преобразующий изменение емкости в изменение частоты. Поскольку разность частот выходных сигналов сравнивается с некоторой величиной, преобразователь в статье назван дифференциальным емкостным датчиком.

В качестве чувствительного элемента используется полевой телефонный кабель марки П-274М. Этот кабель имеет ниже описанные конструктивно-технические характеристики [13]:

- ◆ кабель состоит из двух витых проводов, каждый провод изготовлен из четырех медных и трех оцинкованных стальных проволок, покрытых общим изоляционным материалом, при этом стальные проволоки предназначены для обеспечения прочности медных проводов на разрыв;
- ◆ изоляция рассчитана на сильные деформационные или разрывные нагрузки;

◆ поскольку диаметр проволок небольшой, то и провода, и кабель достаточно эластичны.

Кабель предназначен для маломощных нагрузок в сетях постоянного или переменного тока, с напряжением 120 В или 230 В соответственно. Его можно применить вдоль опор электропередачи на всех типах земельных участков или в короткие сроки, на водных участках.

Указанные особенности позволяют использовать полевой телефонный кабель марки П-274М в качестве чувствительного элемента на участках с различным рельефом, оперативно выполнять монтажные работы по периметру на больших площадях и устанавливать высоконадежный, более эффективный контур управления.

Автогенератор. В датчике дифференциальной емкости в качестве измерительного преобразователя для получения сигналов и эталонных частот использовались два автогенератора, каждый из которых был построен на трех логических элементах [14]. Автогенераторы собраны на двух цифровых микросхемах *K155ЛА3*, внутри которых расположены четыре логических элемента «И-НЕ». Эта микросхема является базовым элементом цифровых интегральных микросхем серии *K155*. Логические элементы внутри микросхемы соединяются только линией электропитания: положительный и отрицательный полюса напряжения питания применяются, соответственно на 14-ый и 7-ой выводы микросхемы. Выводы, на которые подается напряжение питания цифровых микросхем, в принципиальных схемах, обычно не показываются.

При использовании аналогов упомянутой микросхемы, например, микросхемы 7400, различия в выходных частотах автогенераторов не меняют принцип работы датчика дифференциальной емкости.

Частоты обоих автогенераторов, в зависимости от изменения напряжения аккумуляторной батареи, а также окружающей среды меняются. При этом, при отсутствии приближения к чувствительным элементам, для значительного уменьшения или предотвращения возникновения ложных срабатываний, разность частот автогенераторов должна оставаться максимально постоянной или не выходить за заданное предельное значение. Для удовлетворения этого требования к разности частот, геометрические размеры чувствительных элементов принимались равными и логические элементы, расположенные внутри каждой микросхемы, распределялись в схемах автогенераторов симметрично перекрестно [15, 16].

Симметричное перекрестное распределение логических элементов в схемах автогенераторов выполняется следующим образом:

◆ логические элементы DD1.1, DD1.2 из четырех логических элементов «И-НЕ», расположенных внутри цифровой микросхемы, подключаются к схеме первого, а логические элементы DD1.3, DD1.4 к схеме второго автогенератора. Логические элементы DD2.1, DD2.2 из четырех логических элементов «И-НЕ», расположенных внутри второй цифровой микросхемы, подключаются к первой, а логические элементы DD2.3, DD2.4 ко второй схеме автогенератора (рис. 2). Для создания обратной связи входы и выходы автогенераторов подключаются непосредственно: выход DD2.1 в 1-ом автогенераторе соединен со входом DD1.1, а выход DD2.3 во 2-ом автогенераторе со входом DD1.3.

В таком соединении элементы RLC в цепях обратной связи не используются, а микросхемы работают на верхнем пределе частоты. Для устранения влияния на работу автогенераторов внешних цепей, к их выходам в качестве защитного (буферного) каскада подключаются логические элементы DD2, 2 и DD2, 4 соответственно.

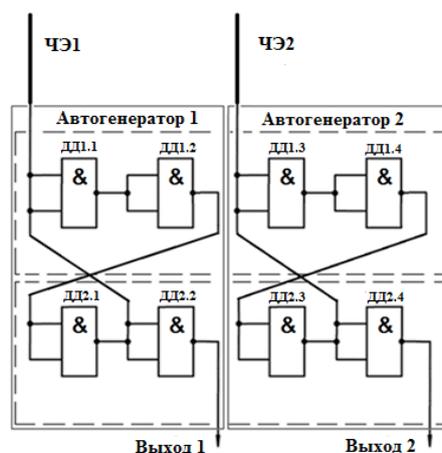


Рис. 2. Схема двух автогенераторов, к которым подключены датчики

Частотомер. В датчике дифференциальной емкости были использованы, в виде полуфабрикатов китайского производства, два частотомера коммерческого назначения. С техническими параметрами и принципом работы цифровых устройств с модельным номером “SKU00653” можно ознакомиться в интернете.

Измерительный тракт частотомера можно разделить на две части. В первой части используется делитель частоты, во второй - микроконтроллер. Сигнал согласуется с входом микроконтроллера с помощью делителя частоты с коэффициентом 64. Исходя из этого, микроконтроллер выполняет расчет фактического значения измеряемой частоты.

Наличие в составе частотного делителя, в дополнение к визуальному контролю частотных характеристик автогенераторов, привело к полезному, упомянутого ниже, применению частотомеров на двух автогенераторных датчиках дифференциальной емкости.

Низкочастотный сигнал с выхода делителя частоты подается на контроллер для передачи на ноутбук. Таким образом, выполнение обработки низкочастотного сигнала через модуль Arduino Uno, реализованный в качестве контроллера, становится возможным без необходимости в дополнительном устройстве.

Конструкция. Печатная плата, на которой собраны автогенераторы, размещена внутри металлического корпуса. Для повышения устойчивости датчика дифференциальной емкости к электромагнитным помехам, металлический корпус изготовлен из металла с магнитными свойствами толщиной 1 мм. Восьмизначные частотомеры, расположены на передней панели корпуса, а разъемы расположены на задней стенке металлического корпуса. Разъемы предназначены для подключения аккумуляторной батареи и чувствительных элементов к частотомерам и датчику дифференциальной емкости.

Создание охраняемого рубежа. Принцип работы датчика дифференциальной емкости основан на изменении емкости относительно Земли двух чувствительных элементов, образующих охранное ограждение при приближении. ЧЭ-и, образующие линии охранного ограждения, устанавливаются параллельно друг другу и к поверхности Земли (рис. 3) [17, 18].

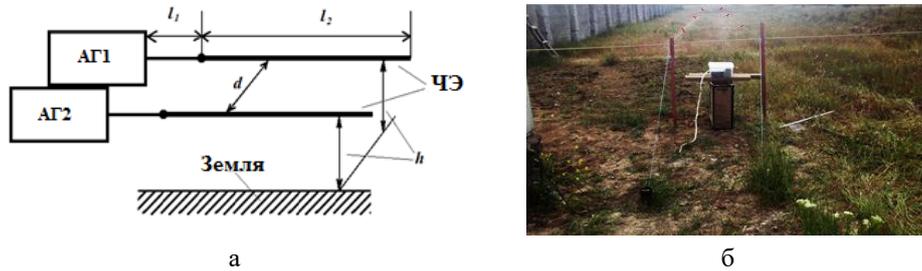


Рис. 3. Чувствительные элементы индикатора дифференциальной емкости: а – схема расположения, б – вид устройства на местности.

Следует отметить, что если чувствительные элементы монтировать по прямой, направленной параллельно поверхности Земли в противоположных направлениях, то вероятность возникновения сигнала “тревоги” значительно снижается за счет того, что разность частот равна нулю или имеет очень небольшую величину, когда к каждому из них, одновременно приближается равное количество людей одинакового веса (нарушителей). Но вероятность того, что такое событие произойдет в реальной жизни, очень мала.

Для подключения ЧЭ к автогенераторам использовался коаксиальный кабель. На рис. 3, l_1 – длина соединительного провода или коаксиального кабеля, используемого для подключения ЧЭ к автогенератору, l_2 – длина ЧЭ, d – расстояние между ЧЭ, h – высота ЧЭ от поверхности Земли. В качестве соединительного провода использовался полевой телефонный кабель, в качестве коаксиального кабеля – кабель марки РК75-4-11 с волновым сопротивлением 75 Ом, причем длины обоих кабелей выбраны $l_1 = 1$ м.

Контроллер. Для передачи выходных сигналов автогенераторов на ноутбук используются два модуля Arduino Uno, и частоты сигналов автогенераторов обрабатываются в ноутбуке посредством программы Unity, сравниваются значения частоты и разница между ними выводится на монитор. При превышении от заданного значения разницы создается тревога. Блок-схемы алгоритмов и исходные коды программ, написанных на модулях Arduino Uno и ноутбуке приведены, соответственно в [19–20].

Вероятность обнаружения нарушителя. Вероятность обнаружения незаконных помет, которые могут возникнуть в каждом из четырех зон ($N_3 = 4$) периметра объекта метеорологического радиолокатора с помощью устройства охраны с индикатором дифференциальной емкости ($N_{пер.тех}$) была рассчитана на основе статьи [21]. Из-за того, что зависимость пропускной способности этого устройства охраны от степени ясности воздуха не выражена заметно ($\lambda = 1$), при расчетах учитывалась только зависимость от годовых климатических условий ($w = 0,7$). Для этого, принимая во внимание длину периметра объекта - $l_{пер.} = 200$ м; длину устойчивой и надежной зоны идентификации - $l_{з.уст} = 500$ м; вероятность обнаружения нарушителя в зоне наблюдения $P_{з.пер.} = 0,950$ -; коэффициент увеличения плотности технических средств в зоне $\alpha_{тех.з} = 2,57$ -; количество опасных объектов, расположенных в пределах зоны $\nu = 2$ (электролиния и объект навигации) и было определено количество технических средств на каждую зону периметра - $N_{з1.тех}$, а также коэффициент, зависящий от технических характеристик устройства охраны - $\gamma_{тех}$.

$$N_{з1.тех} = N_3 \cdot \frac{N_{пер.тех}}{\left(\frac{l_{пер.}}{l_{з.уст}} - (1 - \alpha_{тех.з})\nu\right)} \approx 1,13.$$

$$\gamma_{тех} = \frac{P_{з.пер.}}{(l_{з.уст})^2} = 237500 .$$

После установления значений $N_{з1.тех} \approx 1,13$ и $\gamma_{тех} = 237500$ были рассчитаны вероятности обнаружения нарушителя в идеальных ($\lambda = 1$ и $w = 1$) и годовых климатических ($\lambda = 1$ и $w = 0,7$) условиях в опасных зонах ($P_{ид.об}$ и $P_{усл.об}$) в:

при $\lambda = 1$ и $w = 1$:

$$P_{ид.об} = 1 - \left(1 - \frac{\gamma_{тех} \cdot \lambda \cdot w}{1 + (l_{з1.тех})^2}\right)^{\alpha_{тех.з} \cdot N_{з1.тех}} \approx 0,999,$$

а) при $\lambda = 1$ и $w = 0,7$:

$$P_{усл.об} = 1 - \left(1 - \frac{\gamma_{тех} \cdot \lambda \cdot w}{1 + (l_{з1.тех})^2}\right)^{\alpha_{тех.з} \cdot N_{з1.тех}} \approx 0,958 .$$

Как видно, вероятность обнаружения незаконных вторжений, которые могут происходить на территории объектов, расположенных в охраняемой зоне в идеальных и годовых климатических условиях (дождь, снег, пыль, туман и т. д.), соответственно, равны $P_{ид.об} \approx 0,999$ и $P_{усл.об} \approx 0,958$.

Функциональные возможности и технические параметры датчика дифференциальной емкости. Сигнал тревоги срабатывает при приближении посторонних лиц к одному из чувствительных элементов на определенное расстояние или прикосновении к нему, когда чувствительный элемент срезан или если его открытая от изоляции часть касается земли. Гарантированное расстояние чувствительности для безопасного срабатывания сигнализации при приближении одного человека составляет менее 3 м.

В таблице приведены технические параметры датчика дифференциальной емкости с двумя автогенераторами.

Таблица

Общие технические параметры датчика дифференциальной емкости с двумя автогенераторами

Параметры	Значение
Напряжение питания, V	9-12
Диапазон рабочих частот автогенераторов без чувствительных элементов (варьируется в зависимости от марки и модели микросхемы), МГц	16-17
Максимальная длина защитного забора, м	500
Безопасное расстояние чувствительности, м	2,5-3
Потребляемый ток, не более мА	100
Время готовности устройства к работе, после подачи напряжения питания: сек	60
Время готовности агрегата после пуска, не более секунд	30
Возможность обнаружения:	
а) в идеальных климатических условиях	0,999
б) в годовых климатических условиях	0,958
Режим работы:	день и ночь

Таким образом, в двух автогенераторных схемах датчиков дифференциальной емкости, предназначенных для системы охраны и оповещения, в качестве частото задающего элемента не используются активные и реактивные элементы (RLC) с сосредоточенными параметрами, а также другие полупроводниковые устройства для настройки частоты. При этом, получают следующие преимущества:

- ◆ система работает с максимальной точностью;
- ◆ исключаются высокие требования к параметрам элементов RLC и устройств с сосредоточенными параметрами и зависимость частоты от эффекта старения, присущее конденсаторам, схема упрощается, повышается ее надежность.

Заключение. Использование двух идентичных сигнальных автогенераторов на датчике дифференциальной емкости позволяет осуществлять автоматическую адаптацию устройства охраны к изменениям окружающей среды без использования кварцевого резонатора на эталонном генераторе. Автогенераторы целесообразно строить на цифровых микросхемах, с целью упрощения их схем без использования элементов с сосредоточенными параметрами в качестве частото задающего. Симметричное перекрестное распределение пар логических элементов, расположенных внутри микросхемы, в схеме обоих автогенераторов обеспечивает одинаковое изменение их характеристик. При этом, возможно использование одной, двух или трех цифровых микросхем, а также аналоговых микросхем в зависимости от количества логических элементов, находящихся в них. Тот факт, что при использовании различных типов микросхем генерируемые выходные частоты датчика дифференциальной емкости отличаются, это не меняет принцип работы емкостного устройства.

Достаточно высокая вероятность обнаружения возможных вторжений, которые могут возникнуть на объектах ($P_{ид.об} \approx 0,999$ и $P_{усл.об} \approx 0,958$), определяет эффективность использования устройства охраны с двух автогенераторным датчиком дифференциальной емкости в системе авиационной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Preventive security measures // Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Security. Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference. – 2020. – No. 11. Chapter 4. – P. 25-29.
2. Priority outcomes // ICAO. Global aviation security plan. – November 2017. – Chapter 3. – P. 11.
3. Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Нагиев Н.Т., Велиева Г.Д., Рустамов Р.Р. Особенности проектирования автоматизированного дистанционного охранного комплекса // Вопросы безопасности. – 2018. – № 1. – С. 32-51.
4. Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Велиева Г.Д. Дистанционная система безопасности взлетно-посадочной полосы Международного Нахичеванского Аэропорта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 249-255.
5. Rüstəmov R.R. Məsafədən idarə edilən inteqrasiya olunmuş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin tətbiqi imkanları // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. – 2019, 21 No. 4. – Səh. 31-39.
6. Набиев Р.Н., Рамазанов К.Ш., Рустамов Р.Р. Оценка эффективности применения автоматизированной охранно-оповестительной системы // Тенденции развития науки и образования. – Июнь 2019. – № 51. – Ч. 7. – С. 21-24.
7. Rüstəmov R.R. İnteqrasiya olunmuş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin tətbiqi perspektivləri // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri. – 2020. – № 3 (23). – Səh. 47-53.
8. Набиев Р.Н., Гараев Г.И., Рустамов Р.Р. Сравнительный анализ электрических схем ёмкостных датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 3 (188). – С. 51-64.
9. Галков А., Хомутов О., Якунин А. Емкостная адаптивная охранная система. Патент РФ № 2297671 (С2), с приоритетом от 23. 06. 2005 г. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2007. – № 11.
10. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R. Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. – 2018. – № 2. – Səh. 11-27.
11. Кузин С.А., Львов П.А., Львов А.А., Светлов М.С. Повышение точности емкостных датчиков давления для авиакосмической техники // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 3 (188). – С. 29-41.
12. Производитель и разработчик: компания ПИТБУЛЬ, г. Одесса Издание 0.9 beta (краткая, для ознакомления). – 30 с.
13. Провода П274М | П274МЛ с полиэтиленовой изоляционно-защитной оболочкой. – https://www.radiodetali.perm.ru/list/Provod_P274M.pdf [daxil olma 27.04.2022].
14. Генераторы на микросхемах ТТЛ. <http://esxema.ru/?p=1084> [daxil olma 27.04.2022].
15. Nəbiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R. Determination of high sensitive auto-generator scheme for capacity sensors // International Gobeklitepe Applied Sciences Congress-II. Harran University, Sanliurfa, Turkey, May 6-8, 2021. – P. 126-133.

16. *Нәбиев Р.Н., Гараев Г.И., Рустамов Р.Р.* Исследование схем автогенераторов для емкостных датчиков // Наука России: Цели и задачи: Сб. научных трудов по материалам XV международной научной конференции, Екатеринбург, 10 июня 2019 г. – Ч. 1. – С. 51-53.
17. *Nabiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R.* The study of dependence of the resonance frequencies of differential sensor on the intruder's approaching // Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology. Warsaw, Poland, April 30, 2021. – P. 3-8.
18. *Nәbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Rüstəmov R.R.* Məntiq elementlərində qurulmuş həssas elementli iki avtoqeneratorun rezonans tezliklərinin tədqiqi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. – 2019. – 21 № 3. – Səh. 19-31.
19. *Nabiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R., Guluzade H.S.* Software development differential capacitance device with two auto generators // International Gobeklitepe Applied Sciences Congress-II. Harran University, Sanliurfa, Turkey, May 6-8, 2021. – P. 134-140.
20. *Пономаренко В.И., Караваев А.С.* Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте // Известия Вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – № 4. – С. 77-90.
21. *Nәbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R.* Təkmilləşdirilmiş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin riyazi modelinin qurulması // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. – 2019. – № 1 (21). – S. 132-140.

REFERENCES

1. Preventive security measures, *Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Security. Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference*, 2020, No. 11. Chapter 4, pp. 25-29;
2. Priority outcomes, *ICAO. Global aviation security plan*, November 2017, Chapter 3, pp. 11.
3. *Pashaev A.M., Nabiev R.N., Nagiev N.T., Velieva G.D., Rustamov R.R.* Osobennosti proektirovaniya avtomatizirovannogo distantsionnogo okhrannogo kompleksa [Design features of the automated remote protection complex], *Voprosy bezopasnosti* [Security issues], 2018, No. 1, pp. 32-51;
4. *Pashaev A.M., Nabiev R.N., Velieva G.D.* Distantsionnaya sistema bezopasnosti vzletno-posadochnoy polosy Mezhdunarodnogo Nakhchivanskogo Aeroporta [Remote security system of the runway of Nakhchivan International Airport], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 2, pp. 249-255.
5. *Rüstəmov R.R.* Məsafədən idarə edilən inteqrasiya olunmuş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin tətbiqi imkanları [Possibilities of application of remote-controlled integrated security-warning system], *Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri* [Scientific Collections of the National Aviation Academy], 2019, 21 No. 4, pp. 31-39.
6. *Nabiev R.N., Ramazanov K.Sh., Rustamov R.R.* Otsenka effektivnosti primeneniya avtomatizirovannoy okhranno-opovestitel'noy sistemy [Evaluation of the effectiveness of the automated security and notification system], *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education], June 2019, No. 51, Part 7, pp. 21-24.
7. *Rüstəmov R.R.* İnteqrasiya olunmuş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin tətbiqi perspektivləri, *Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri*, 2020, No. 3 (23), pp. 47-53.
8. *Nabiev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R.* Sravnitel'nyy analiz elektricheskikh skhem emkostnykh datchikov [Comparative analysis of electrical circuits of capacitive sensors], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 3 (188), pp. 51-64.
9. *Galkov A., Khomutov O., Yakunin A.* Emkostnaya adaptivnaya okhrannaya sistema. Patent RF № 2297671 (S2), s prioritom ot 23. 06. 2005 g. Byulleten' «Izobreteniya. Poleznye modeli» [Capacitive adaptive security system. RF Patent No. 2297671 (C2), with priority dated 23. 06. 2005 Bulletin "Inventions. Utility models"], 2007, No. 11.
10. *Paşayev A.M., Nәbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R.* Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi [Assessment of the reliability of the automated protection-warning system], *Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri* [Scientific Works of the National Aviation Academy], 2018, No. 2, Səh. 11-27.

11. Kuzin S.A., L'vov P.A., L'vov A.A., Svetlov M.S. Povyshenie tochnosti emkostnykh datchikov davleniya dlya aviakosmicheskoy tekhniki [Improving the accuracy of capacitive pressure sensors for aerospace equipment], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 3 (188), pp. 29-41.
12. Proizvoditel' i razrabotchik: kompaniya PITBUL', g. Odessa Izdanie 0.9 beta (kratkaya, dlya oznakomleniya) [Manufacturer and developer: PITBULL company, Odessa 0.9 beta edition (brief, for reference)], 30 p.
13. Provoda P274M | P274ML s polietilenovoy izolyatsionno-zashchitnoy obolochkoy [Wires P274M | P274ML with a polyethylene insulating and protective shell]. Available at: https://www.radiodetali.perm.ru/list/Provod_P274M.pdf (accessed 27 April 2022).
14. Generatory na miroskhemakh TTL [Generators on TTL circuits]. Available at: <http://esxema.ru/?p=1084> (accessed 27 April 2022).
15. Nabiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R. Determination of high sensitive auto-generator scheme for capacity sensors, *International Gobeklitepe Applied Sciences Congress-II. Harran University, Sanliurfa, Turkey, May 6-8, 2021*, pp. 126-133.
16. Nabiev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R. Issledovanie skhem avtogeneratorov dlya emkostnykh datchikov [Kapasitif sensorlar üçün avtomatik generatorlar sxemlərinin tədqiqi], Nauka Rossii: Tseli i zadachi: Sb. nauchnykh trudov po materialam XV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Ekaterinburg, 10 iyunya 2019 g. [Rusiya elmi: məqsədlər və məqsədlər: XV Beynəlxalq elmi konfransın materialları üzrə Elmi əsərlər Sat, Yekaterinburq, 10 iyun 2019], Part 1, pp. 51-53.
17. Nabiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R. The study of dependence of the resonance frequencies of differential sensor on the intruder's approaching, *Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology. Warsaw, Poland, April 30, 2021*, pp. 3-8.
18. Nəbiyev R.N., Qarayev Q.İ., Rüstəmov R.R. Məntiq elementlərində qurulmuş həssas elementli iki avtogeneratorun rezonans tezliklərinin tədqiqi [The study of resonant frequencies of two sensitive elements autogenerator constructed in logic elements], *Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri* [Scientific Collections of the National Aviation Academy], 2019, 21 No. 3, pp. 19-31.
19. Nabiyev R.N., Garaev G.I., Rustamov R.R., Guluzade H.S. Software development differential capacitance device with two auto generators, *International Gobeklitepe Applied Sciences Congress-II. Harran University, Sanliurfa, Turkey, May 6-8, 2021*, pp. 134-140.
20. Ponomarenko V.I., Karavaev A.S. Ispol'zovanie platformy Arduino v izmereniyakh i fizicheskoy eksperimente [The use of the Arduino platform in measurements and physical experiment], *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya nelineynaya dinamika* [Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics], 2014, No. 4, pp. 77-90.
21. Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R. Təkmilləşdirilmiş mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin riyazi modelinin qurulması [Development of mathematical model of improved security-warning system], *Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri* [Scientific Journals of the National Aviation Academy], 2019, No. 1 (21), pp. 132-140.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ф.Г. Агаев.

Набиев Расим Насиб оглы – Национальная авиационная академия Азербайджана; e-mail: nabiyevrasim@gmail.com; г. Баку, Азербайджан; тел.: +994557547646; НИИ Транспорта и авиакосмических проблем; начальник отдела авиационной электроники; д.т.н.

Гараев Гадир Исахан оглы – e-mail: qedir71@mail.ru; тел.: +994703218115; инженер электроники.

Рустамов Руслан Рустам оглы – e-mail: ruslan__433@mail.ru; тел.: +994705864616; докторант.

Nabiyev Rasim Nasib oglu – National Aviation Academy of Azerbaijan; e-mail: nabiyevrasim@gmail.com; Baku, Azerbaijan; phone: +994557547646; the department of the Scientific Research Institute of Transport and Aerospace Problems; head of Aviation Electronic, dr. of eng.sc.

Garaev Gadir Isahan oglu – e-mail: qedir71@mail.ru; phone: +994703218115; electronics engineer.

Rustamov Ruslan Rustam oglu – e-mail: ruslan__433@mail.ru; phone: +994705864616; the person working for doctor's degree.