

**КӨЛІК, КӨЛІКТІК ИНЖЕНЕРИЯ  
TRANSPORT, TRANSPORT ENGINEERING  
ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ**

УДК: 629.7; 621.391.63

DOI 10.52167/1609-1817-2023-127-4-16-23

**Т.Б. Керibaева<sup>1</sup>, К.Т. Кошекoв<sup>1</sup>, А.Ж. Бугубаева<sup>2</sup>, Ж.К. Азаматова<sup>3</sup>,  
М.А.Карменова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Академия Гражданской Авиации, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский Университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>4</sup>Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан.

<sup>1</sup>E-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz

**СТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ГРУПП БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ VLC-ТЕХНОЛОГИИ**

**Аннотация.** В работе рассматривается анализ применения интегрированных групп БПЛА. Определены направления в совершенствовании функционирования. При этом основным становится модернизация каналов передачи данных. Цель данной статьи является разработка структур и режимов функционирования интегрированных групп БПЛА с информационными каналами на основе VLC-технологии. Актуальность работы является преимуществами применения VLC-технологии в каналах передачи данных и оценена погрешность оценки расстояния между объектами интегрированных групп.

**Ключевые слова.** Метод, беспилотные летательные аппараты, управление, сеть, VLC технология, искусственный интеллект, Li-Fi.

**Введение.**

В настоящее время наблюдается масштабное внедрение технологий направления Индустрия 4.0 в беспилотные летательные системы. Это позволяет увеличить набор сценариев применимости, универсальности, низкой стоимости и простоте развертывания.

Область применения БПЛА также значительно расширилась в военной и гражданской отраслях и гражданская. Причем потребность последнего направления за последнее десятилетие существенно выросла и нашла применение в следующих областях: сбор данных, контроль и прогнозирование в нефтегазовой отрасли, метеорологии, поисковые и спасательные операции и т. д.

За последние десять лет интерес к беспилотным технологиям постоянно возрастает из-за снижения стоимости, простоты в реализации, способностью решения прикладных задач в трудных условиях и возможностью применения в рискованных операциях без угрозы жизни оператора [1].

Но эффективность беспилотных технологий существенно повышается благодаря объединению БПЛА в интегрированные группы, где каждый элемент может рассматриваться как простой агент в сетевой системе управления, а совокупность всех агентов роя представляет собой мультиагентную систему.

Интегрированная система управления роем БПЛА позволит повысить эффективность усилий по координации поведения элементов, что позволит обеспечить

более широкий охват территории, более высокую гибкость и надежность за счет резервирования.

Однако использование малогабаритных БПЛА сопровождается рядом проблем. Главная трудность заключается в невозможности обеспечения стабильного и высоконадежного энергоснабжения, поскольку для создания эффективной радиосвязи с оператором применяется мощный энергоресурс приемопередающей аппаратуры. При этом для сохранения маневренных характеристик требуется существенное уменьшение размеров антенн [1], что снижает качество связи.

Инновационное решение указанной проблемы становится создание наиболее эффективных каналов связи для обеспечения:

- передачи изображений, контрольно-измерительных и управляющих сигналов, информацию об окружающей среде от каждого БПЛА;
- связи с наземным центральным устройством и БПЛА верхнего уровня.

Новизной этой работы является подход к технологии VLC систем с беспроводными каналами передачи данных.

В статье предлагается повысить эффективность беспроводных каналов передачи информации и данных на основе использования оптического диапазона шкалы электромагнитных волн [2, 3]. Это новая технология передачи информации и данных по видимому свету VLC – Visible Light Communication, которая позволяет источник света использовать не только как осветительный прибор, но и как средство передачи информации и данных [4, 5].

С новой технологией передачи данных потребуется разработать структуры и режимы функционирования интегрированных групп БПЛА. Предлагаемые решения должны быть универсальными при переходе на другие диапазоны передачи данных и эффективны при контроле расстояния между БПЛА и точности позиционирования.

### **Материалы и методы.**

Как следует из [1], в последнее время малогабаритные БПЛА находят наибольшее применение по причине невысокой цена производства, например, [1] 10.000.000\$ - стоимость опытного образца полноразмерного БПЛА, 30.000\$ - прототип мини-БПЛА, а при производстве стоимость составит -10\$.

При этом возможность формирования групп и комплексов существенно повышает эффективность и решение многих проблем, свойственных для полноразмерных БПЛА, например, наличие инфраструктуры по обслуживанию.

На основе аналитических исследований для повышения эффективности инфокоммуникационного обмена, предлагается применять искусственную систему децентрализованного управления на основе принципов самоорганизации природных особей или агентов. Каждый БПЛА группы самостоятельно собирает информацию о текущем состоянии и об окружающей среде. А главное взаимодействия только с ближайшими летательными аппаратами передает информацию о реализации стоящих перед группой задач. Дальность связи и энергозатраты невелики, однако для обеспечения устойчивого полета зону передачи данных надо расширять. Особенно это важно для своевременного обнаружения преград: здания, деревья, линии электропередач, воздушные потоки и средства противовоздушной обороны.

Следовательно, при групповом использовании БПЛА требуется выполнение следующих условий:

- соблюдение дистанций для устойчивой связи;
- исключение перекрытия рабочих зон сенсорных устройств;
- избегание сближения с аппаратами и препятствиями, приводящего к столкновениям;
- упорядочивание движения.

Метод управления группой БПЛА с общим  $N$  количеством заключается в локальных действиях [1]  $A = \langle A_1, \dots, A_N \rangle$ , где в соответствии с поставленной задачей  $p_b \in P$  в результате преобразования из текущего состояния  $S_0 = \langle S_{10}, \dots, S_{N0} \rangle$  формируется целевое состояние  $s_k^b = \langle s_{1k}^b, \dots, s_{Nk}^b \rangle$ . При этом достигается минимум функционала  $Y = F_b(s_1, \dots, s_N)$  в зоне видимости БПЛА.

На основе анализа источников [6] можно заключить, что лидерами применения роя БПЛА стали США, Китай, Франция, Германия, Испания, Иран. Перспектива развития роя - формирование из разных типов БПЛА, но главная проблема заключается в несовершенстве информационной сети управления и передачи (обмена) данными.

Для обеспечения передачи данных между БПЛА и наземными системами применяются инфокоммуникационные технологии Wi-Fi стандарта IEEE 802.11 [7]. Однако при использовании данной сети рой БПЛА уязвим для кибератак по следующим причинам:

- невозможность обеспечить шифрование на бортовых электронных устройствах;
- беспрепятственное определение IP-адреса и подключение к БПЛА для рекогносцировки [4];

- определение открытых портов путем несложных инструментов сканирования.

При этом технологии кибератак постоянно совершенствуются. Как следует из [6], наиболее мощными по эффективности являются следующие кибератаки:

- отказ в обслуживании - сканирование и поиск открытых портов, высокоскоростная отправка безответных пакетов, перегрузка сети информацией и недоступность для других коммуникаций;

- атака деаутентификации – получение контроля и управления над БПЛА, приводящее к остановке функционирования в воздухе;

- «атака «человек посередине» - при нахождении злоумышленника между БПЛА и системой управления запускается режим разведки, при получении уязвимого места компьютер злоумышленника имитирует поведение БПЛА, а реальный объект теряет управление;

- доступ с в качестве суперпользователя – подключение компьютера злоумышленника к БПЛА с доступом к ресурсам;

- подмена пакетов – генерирование злоумышленником IP-пакетов для имитирования полета БПЛА.

Для реализации указанных видов кибератак существуют инструменты и программные продукты [7], например Nmap, Aircrack-ng, ICMP – пакеты, PineAP SSID и т.д.

Как следует из выше приведенного материала, важным направлением в совершенствовании функционирования интегрированных групп БПЛА становится модернизация каналов передачи данных.

В ряде статей данная технология и технические решения были системно объединены в одну группу нового поколения Li-Fi (Light Fidelity). В качестве фундаментальных и конструктивных элементов приняты светодиодные системы, используемые для освещения бытовых помещений [2-4].

Технология Li-Fi имеет определенные ограничения связанные с небольшим расстоянием передачи данных - до 10 метров и рассеиванием генерируемых сигналов в атмосфере с уменьшением области приема.

Однако перспективы этой технологии заключаются в широкой полосе частот - в 4 раза шире, чем радиоволны. Это не перегружает канал передачи данных.

В настоящее время активно ведутся работы по увеличению расстояния чувствительности путем перехода на более мощные источники генерирования сигналов.

Возможность управления яркостью рабочим током увеличивает срок службы генератора, экономится электроэнергия и уменьшается тепловыделение.

Современные технологии на других физических принципах позволяют осуществлять регулировку интенсивности света в очень широком диапазоне.

Светодиоды мало инерционны, поэтому могут функционировать в высокочастотной области. Управляющие функции реализуются благодаря специальным драйверами, функционально-структурная схема подключения драйвера показана на рисунке 1 [6].

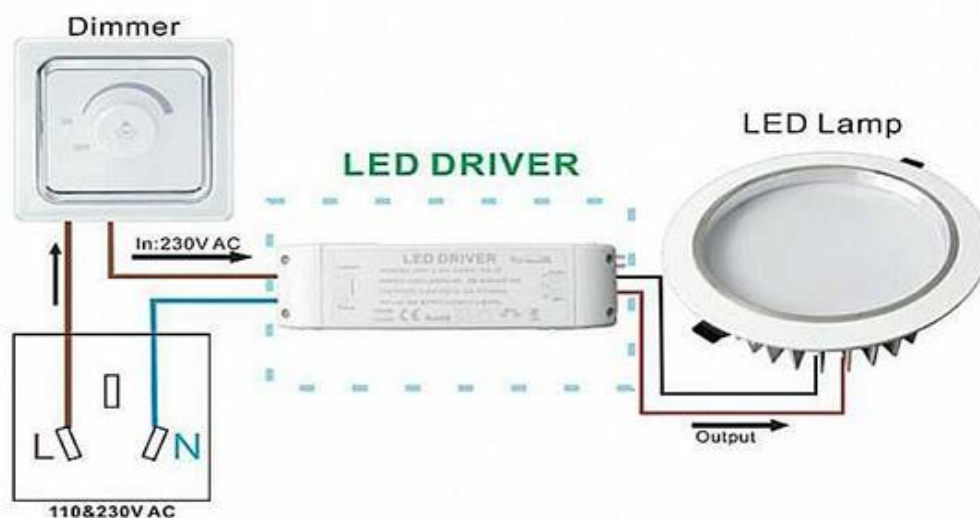


Рисунок 1 – Функциональная модель драйвера

Модуляция светового потока применяется для передачи информации, например речевой или цифровой. В основном применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Данный метод состоит в отношении времени нахождения светодиода во включенном и отключенном состояниях при постоянной амплитуде сигнала. Длительность импульсов и их соотношение изменяет напряжение на выходе ШИМ по протоколу DMX-512, который объединяет пульты, кнопочные посты и т.д. с драйвером.

Значение тока управляется двумя способами:

- изменение амплитуды импульсов рабочего тока;
- изменение ширины импульсов тока при постоянной частоте импульсов, увеличивающий КПД устройства, причем яркость свечения не изменяется, а полезная информация изменяется по закону управляющего напряжения или тока.

В настоящее время драйверы с ШИМ выпускаются в микросхемном исполнении.

### Результаты и обсуждение

На основе предварительных расчетов параметров VLC-технологии, вероятностного и имитационного моделирования, авторами статьи предложены структуры интегрированных групп БПЛА.

В каждой структуре функционируют два вида БПЛА: ведущий (VD) и ведомые (VM). Расстояние между БПЛА или зона видимости должен составлять  $d \leq 10$  метров.

Топологии интегрированных групп БПЛА бывают двух видов. К первому виду относятся пространственные:

- иерархическая представлена на рисунке 2, а;
- круговая – на рисунке 2, б.

Ко второму виду относятся топологии объемные:

- сферическая – на рисунке 2, в;
- кубическая – на рисунке 2, г.

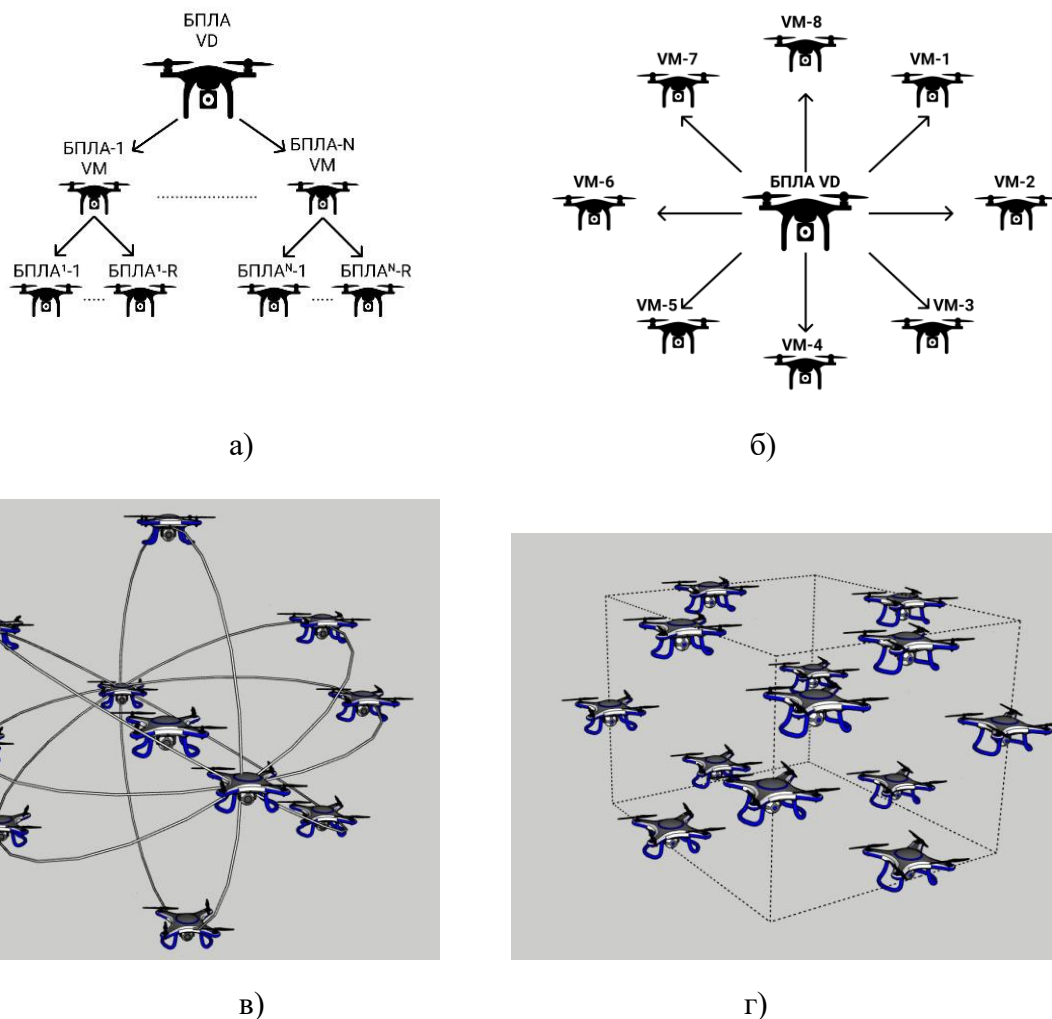


Рисунок 2 - Структурная топология беспилотников

а) иерархическая, б) круговая, в) сферическая, г) кубико образная

Разработанные структуры применимы при переходе с VLC-технологии на инфракрасные и лазерные устройства. При этом зона видимости может увеличивать соответственно до  $d \leq 78$  метров и  $d \leq 1400$  метров [8]. Но между объектами не должно быть препятствий.

Каждая интегрированная группа БПЛА имеет следующие режимы функционирования.

Первый – формирование роя с присвоением идентификационных кодов БПЛА, размещение по указанной топологии и присвоение полетного задания. Алгоритмы реализации предусматривает типы платформ, способ запуска, погодные условия, уровень технологичности. Оператор определяет только ведущую БПЛА и полетное задание.

Второй режим включает трансформацию - изменение местоположения элементов роя под управлением ИИ в условиях воздействия на него внешних неблагоприятных факторов. В основе алгоритмов лежит преобразование пространственных координат.

Третий режим – перемещение центра интегрированной группы между двумя точками: из начальной точки в конечную, определяемую ИИ по аналогии с движением живых организмов.

Четвертый - базируется на кластеризации исходной группы с формированием роев БПЛА по управлению оператором или на основании алгоритмов ИИ. При этом сформировавшиеся рой могут двигаться по новым траекториям, а в них могут быть определены новые ведущие элементы. В результате деления устойчивость к помехам и эффективность решения выполняемых задач может повышаться.

Пятый – распад группы с естественной убылью и дезинтеграцией после решения поставленных задач или под влиянием внешних факторов. В основном алгоритмы используются для машинного обучения при адаптации.

Установлено, что в каждом режиме возможно применение VLC – технологии для контроля расстояния между БПЛА и точности позиционирования. По результатам моделирования погрешность составила  $\Delta = 0.2\%$ . Погрешность может возрасти от условий внешней среды: температуры и влажности. Решению этого вопроса будут посвящены дальнейшие исследования.

1. Применение VLC-технологии, по сравнению с Wi-Fi, имеет ряд достоинств:

- быстрое действие, обеспечивающее работу в наносекундном временном диапазоне, что позволяет использовать VLC технологию для передачи данных, как в аналоговых, так и в цифровых режимах;
- защищенность информационного канала от пассивных и промышленных помех и активного внешнего вмешательства.

### **Заключение.**

Для достижения цели были решены следующие задачи: разработана структура и предложены режимы функционирования интегрированных групп БПЛА с информационными каналами на основе VLC-технологии.

Предложенные авторами статьи расчеты параметров VLC-технологии позволяют применять разработанные интегрированные структуры БПЛА на инфракрасных и лазерных системах передачи.

Предложенные режимы работы роя включают присвоение идентификационных кодов БПЛА и задания, изменение местоположения элементов роя под управлением ИИ в условиях воздействия на него внешних неблагоприятных факторов, перемещение центра интегрированной группы между двумя точками.

Предложено использовать VLC – технологию для контроля расстояния между БПЛА и точности позиционирования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Иванов Донат Яковлевич, Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск №3 (116), 2021, стр 221-229

[2] Visible light for broadband communications: report ITU-R SM.2422-1 / ITU Radiocommunication Sector. – Geneva, 2019. – 18 p.

[3] Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V. et al. LED based indoor visible light communications: state of the art // IEEE Communication Surveys & Tutorials. – 2015. – Vol. 17, Issue 3. – P. 1649-1678.

[4] Chowdhury M., Shahjalal Md. et al. The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9, Issue 20. – P. 4367-1-4367-20.

[5] Светодиодное освещение // <https://svetodiodinfo.ru/svoimi-rukami/dimmer-dlya-svetodiodnyx-lamp-220v-svoimi-rukami.html>. 11.04.2019

[6] Аблец А.А., Стребков А.Н., Завгородняя Е.В., Опыт создания роя БПЛА в вооруженных силах иностранных государств // Военная мысль №6-2022, стр. 137-146

[7] Довгаль Виталий Анатольевич, Довгаль Дмитрий Витальевич Обнаружение и предотвращение атаки «злоумышленник в середине» в туманном слое роя дронов. - // ISSN 2410-3225 Ежеквартальный рецензируемый, реферируемый научный журнал «Вестник АГУ». Выпуск 2 (261) 2020

[8] Where are the discounts? Carrefour's LED supermarket lighting from Philips will guide you. – URL: <http://www.newscenter.philips.com/main/standard/news/press/2015/20150521-where-are-thediscounts-carrefours-led-supermarket-lighting-from-philips-will-guide-you>

### REFERENCES\*

[1] Ivanov Donat Yakovlevich, Methods of swarm intelligence for managing groups of small unmanned aerial vehicles. - // Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences Thematic issue No. 3 (116), 2021, pp. 221-229

[2] Visible light for broadband communications: report ITU-R SM.2422-1 / ITU Radiocommunication Sector. – Geneva, 2019. – 18 p.

[3] Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V. et al. LED based indoor visible light communications: state of the art // IEEE Communication Surveys & Tutorials. - 2015. - Vol. 17, Issue 3. - P. 1649-1678.

[4] Chowdhury M., Shahjalal Md. et al. The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges // Applied Sciences. - 2019. - Vol. 9, Issue 20. - P. 4367-1-4367-20.

[5] LED lighting // <https://svetodiodinfo.ru/svoimi-rukami/dimmer-dlya-svetodiodnyx-lamp-220v-svoimi-rukami.html>. 04/11/2019

[6] Ablets A.A., Strebkov A.N., Zavgorodnyaya E.V., Experience in creating a swarm of UAVs in the armed forces of foreign states. -// Military thought No. 6-2022, pp. 137-146

[7] Dovgal Vitaliy Anatolievich, Dovgal Dmitry Vitalievich Detection and prevention of attack "intruder in the middle" in the foggy layer of a swarm of drones. - // ISSN 2410-3225 Quarterly peer-reviewed, refereed scientific journal "ASU Bulletin". Issue 2 (261) 2020

[8] Where are the discounts? Carrefour's LED supermarket lighting from Philips will guide you. – URL: <http://www.newscenter.philips.com/main/standard/news/press/2015/20150521-where-are-thediscounts-carrefours-led-supermarket-lighting-from-philips-will-guide-you>

**Талшын Керибаева**, докторант, Азаматтық авиация академиясының, Алматы, Қазақстан, talshyn.keribayeva@agakaz.kz

**Кайрат Кошекков**, т.ғ.д., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан, k.koshekov@agakaz.kz

**Алина Бугубаева**, PhD, Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан, alina\_bugubayeva@mail.ru

**Жанерке Азаматова**, т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан, zhanerkeaz@mail.ru

**Мархаба Карменова**, PhD, қауымдастырылған профессоры, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан, mmm\_0582@mail.ru

## VLC ТЕХНОЛОГИЯСЫ НЕГІЗІНДЕГІ ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНЫҢ БІРІКТІРІЛГЕН ТОПТАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДАРЫ

**Аңдатпа.** Жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының интеграцияланған топтарын қолдануды талдау қарастырылады, жұмыс істеуді жетілдірудегі бағыттар анықталады, бұл ретте деректерді беру арналарын жаңғырту негізгіге айналады. Бұл мақаланың мақсаты VLC технологиясы негізінде ақпараттық арналары бар ұшқышсыз ұшу аппараттарының интеграцияланған топтарының құрылымдары мен жұмыс режимдерін әзірлеу болып табылады. Деректер арналарында VLC технологиясын қолданудың артықшылықтары сипатталған және интеграцияланған топтардың объектілері арасындағы қашықтықты бағалау қателігі бағаланған.

**Түйін сөздер.** Әдіс, ұшқышсыз ұшу аппараттары, басқару, желі, VLC технология, жасанды интеллект, Li-Fi.

**Talshyn Keribayeva**, doctoral student, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan  
**Kairat Koshekov**, doctor of technical sciences, professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, k.koshekov@agakaz.kz

**Alina Bygybayeva**, PhD, associate professor, Karaganda University of Kazpotreboyz, Karaganda, Kazakhstan, alina\_bugubayeva@mail.ru

**Zhanerke Azamatova**, candidate of technical sciences, associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, zhanerkeaz@mail.ru

**Marhaba Karmenova**, PhD, associate professor, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, mmm\_0582@mail.ru

## STRUCTURES OF INTEGRATED GROUPS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON VLC TECHNOLOGY

**Abstract.** The paper examines the analysis of the use of integrated groups of UAVs, identifies areas for improving functioning, while the modernization of data transmission channels becomes the main one. The purpose of this article is to develop structures and modes of operation of integrated groups of UAVs with information channels based on VLC technology. The advantages of using VLC technology in data transmission channels are described and the error in estimating the distance between objects of integrated groups is estimated.

**Keywords.** Method, unmanned aerial vehicles, control, network, VLC technology, artificial intelligence, Li-Fi.

\*\*\*\*\*