

УДК 612.843

URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1012.html

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПРЕДПРОФИЛЬНОГО ОТБОРА И РЕАБИЛИТАЦИИ ОПЕРАТОРОВ ДРОНОВ

Ф.Д. Яроцкий

fedor.yar07@mail.ru

*МБУ ДО «Центр детского (юношеского) научно-технического творчества»,
Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация*

Проект посвящен созданию мобильного программно-аппаратного комплекса предпрофильного отбора и реабилитации операторов дронов. Принцип действия прибора основан на контроле физиологического параметра организма — лабильности нервной системы человека у кандидатов на должность операторов дронов методом измерения критической частоты слияния мельканий, критической частоты различения мельканий и измерения времени принятия трудного решения. Реабилитация зрительного анализатора осуществляется воздействием импульсного света с длиной волны 550 нм (желто-зеленый) и частотой на 10...15 % меньше измеренного и зафиксированного значения критической частоты различения мельканий для конкретного оператора дронов. Прибор выполнен в форме VR-очков, имеет автономное питание и может быть использован в полевых условиях. Прибор прошел успешные лабораторные испытания на базе Армавирского центра детского (юношеского) научно-технического творчества.

Ключевые слова: импульсный монохромный свет, критическая частота слияния мельканий, критическая частота различения мельканий, время принятия трудного решения, лабильность нервной системы, LCD-дисплей, Arduino Nano, профессиональная predisposedность

Введение. Современное научное познание определяет человека как основной объект исследования. Потребность в этом задается все возрастающим ритмом жизни и характеризуется законом сохранения общества как организованной структуры. Прогнозирование поведения человека определяется его устойчивыми качествами: это его свойства личности, а также эмоциональное и физическое состояние в конкретный момент времени. Доказано влияние нервных процессов на различные стороны жизнедеятельности, такие как когнитивная сфера, устойчивость к стрессу, характер вегетативных реакций [1]. Это, в свою очередь, позволяет дать предпрофессиональные рекомендации и провести профессиональный отбор, что наиболее актуально для операторов сложных механизмов, например, дронов.

Известны методы контроля эмоционального и физического состояния, такие как контроль частоты слияния мельканий (КЧСМ) и контроль частоты

различения мельканий (КЧРМ), измерение времени принятия трудного решения. Эти методы удобно совмещать с реабилитацией зрения импульсным монохромным светом. Разработанный прибор позволяет проводить предпрофильный отбор кандидатов, способных эффективно дистанционно управлять дронами; контролировать степени утомляемости и утомленности; проводить реабилитацию органов зрения операторов дронов после большой профессиональной нагрузки.

Конструкторско-технологическая база прибора соответствует требованиям, изложенным в статье [2].

Прототипы устройства описаны в патентах РФ на полезную модель: RU5079U1 [3], RU9387U1 [4], RU11059U1 [5]; в патентах РФ на изобретения: RU2119764C1 [6], RU2189168C2 [7], RU2282811C1 [8].

Предел восприятия человеком световых мельканий. Говоря о пределе восприятия человеком световых мельканий, отметим, что это восприятие определяется логарифмической зависимостью, описывающей закон Ферри — Портера [9]:

$$F_{кр} = a \lg B + b,$$

где a, b — константы, зависящие от спектрального состава света; B — яркость сигнала.

Таким образом, согласно закону Ферри — Портера, предел восприятия человеком световых мельканий увеличивается пропорционально логарифму яркости стимула, причем это происходит независимо от длины волны, соответствующей данному зрительному стимулу. Этот предел увеличивается при увеличении угловых размеров источника света, сокращении световой фазы излучения относительно темновой фазы, освещении центральной ямки сетчатки по сравнению с ее периферией в условиях дневного освещения и, наоборот — при сумеречном или длинноволновом освещении (темновая адаптация). Различают два метода определения предела восприятия световых мельканий: КЧСМ и КЧРМ. Функциональное различие между ними заключается в том, в какую сторону (большую или меньшую) изменяется частота мельканий зрительного стимула. Все измерения проводят несколько раз, определяя среднеарифметическое значение.

Методика исследования критической частоты слияния мельканий. Критическая частота слияния мельканий — это минимальная частота мелькания прерывистого светового излучения в единицу времени, при которой глаз человека перестает различать мелькания, а источник света воспринимается как монотонное светлое пятно [10]. Исследование проводят с увеличением частоты мельканий от 10 Гц с шагом в 1 Гц до полного слияния. Критическая частота слияния мельканий является преимущественно показателем

подвижности нервных процессов в зрительном анализаторе. Состояние последнего в полной мере отражает тонус центральной нервной системы, ее лабильность, уровень утомления при физической и умственной работе. Методика КЧСМ весьма чувствительна к воздействию самых разнообразных факторов среды обитания человека. Уменьшение показателя расценивается как снижение подвижности нервных процессов в зрительном анализаторе. Это происходит в результате тех или иных неблагоприятных воздействий на человека вследствие развивающегося утомления, снижения тонуса, ухудшения общего состояния организма [11].

Методика исследования критической частоты различения мельканий.

Критическая частота различения мельканий — максимальная частота вспышек света, при которой возникает ощущение равномерного непрерывного свечения при уменьшении частоты мельканий. Рекомендуемый диапазон частоты предъявления световых сигналов в порядке убывания — от 70 Гц до частоты, при которой начинают различаться световые мелькания [9]. Результаты исследования, полученные методом КЧРМ, более информативны, чем данные, полученные методом КЧСМ. Но при этом КЧРМ в большей степени нагружает зрительные анализаторы, чем диагностика КЧСМ.

Средние значения КЧСМ/КЧРМ сведены в табл. 1 [9].

Таблица 1. Средние значения КЧСМ/КЧРМ, Гц

№ п/п	Лабильность	Мужчины	Женщины
1	Низкая	17,89–35,24	11,79–34,95
2	Промежуточная в сторону низкой	35,25–37,97	34,96–37,80
3	Средняя	37,98–40,78	37,81–40,62
4	Промежуточная в сторону высокой	40,79–44,64	40,63–43,42
5	Высокая	44,65–62,50	43,42–62,00

Метод «время принятия трудного решения». Метод «время принятия трудного решения» — это метод, основанный на контроле времени, которое человек затрачивает на совершение единственного действия в ответ на внешний раздражитель. На испытание отводится ограниченное время, ответ — механическое действие в парадигме «да» или «нет».

Проектирование прототипа прибора контроля КЧСМ и КЧРМ с возможностью релаксации органов зрения импульсным монохромным цветом. При конструировании прототипа прибора были поставлены следующие требования к прибору:

- должен быть мобильным и автономным, а также простым в обращении;
- определять КЧСМ и КЧРМ в автоматическом режиме;

- иметь возможность регулировки яркости свечения излучателей;
- работать в монокулярном и бинокулярном режимах;
- предусматривать работу в диапазоне четырех цветов;
- обеспечивать релаксацию зрения импульсным монохромным цветом.

Считаем, что прибор удобнее всего выполнить в виде очков-шлема виртуальной реальности. Очки-шлем виртуальной реальности обеспечивают полную темновую адаптацию при исследовании и имеют встроенную оптическую систему, легко адаптируются к лицу человека любого возраста. В качестве арифметико-логического устройства прибора для контроля КЧСМ и КЧРМ с возможностью реабилитации органов зрения импульсным монохромным светом была выбрана плата Arduino Nano, поскольку ее вычислительные возможности достаточны для реализации поставленных требований. В качестве блока визуализации использовали ЖК-дисплей GSMIN LCD1602. Источниками световых излучателей служили треханодные светодиоды. Регулировка яркости свечения осуществлялась с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) через источник тока, регулируемый напряжением (ИТУН). Несмотря на то что ШИМ-модуляцию можно было организовать программно, был выбран аппаратный способ. Это объясняется ограниченными возможностями Arduino Nano, что затрудняет реализацию плавной регулировки яркости. Выполнить ШИМ можно с помощью заводского блока на специализированной микросхеме TL494.

Электрическая и межблочная схема соединений устройства представлена на рис. 1.

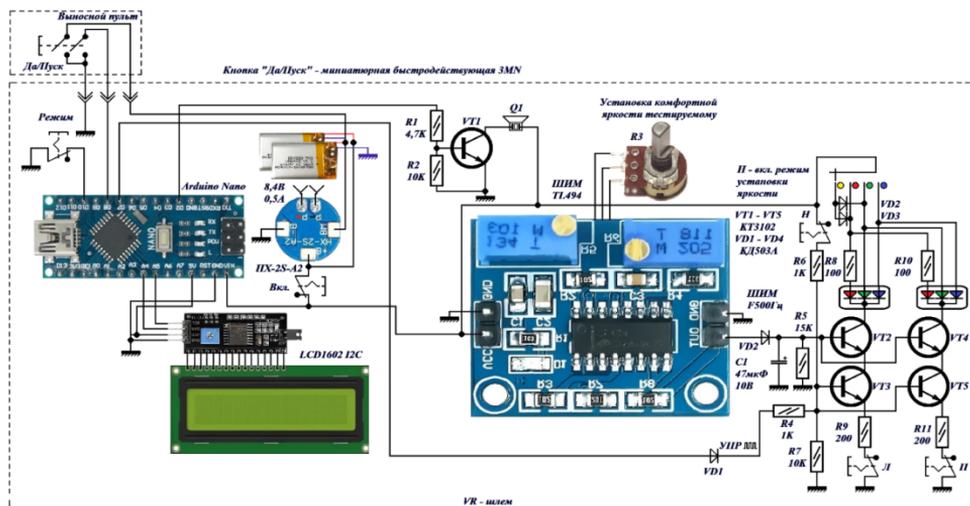


Рис. 1. Электрическая и межблочная схема соединений устройства

Противопоказания к использованию. Общими противопоказаниями к применению КЧСМ и КЧРМ являются светобоязнь, слезотечение, острый период воспалительного процесса глаз, судорожная готовность, психические расстройства, эпилепсия, а также индивидуальная непереносимость мелькающего света, которая часто встречается у больных с рассеянным склерозом [10]. В то же время эти исследования позволяют выявить латентных носителей физиологических ограничений и не допустить их к управлению высокотехнологичными процессами.

Подготовка прибора к работе. Внешний вид прибора представлен рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид прибора

Подготовку прибора к работе выполняют в несколько этапов: очки-шлем погоняют к лицу согласно анатомическим особенностям испытуемого; четырехпозиционным переключателем выбирают цвет света зрительного стимула из диапазона трех основных цветов — красный, зеленый и синий (желтый цвет получается при одновременном задействовании зеленого и красного излучателей); задают режим бинокулярного исследования (зафиксированы оба выключателя «Л» и «П») или монокулярного исследования (зафиксирован один из двух выключателей «Л» или «П»); подают внешнее питание 8,4 В; настраивают комфортную яркость свечения излучателей переменным резистором R3 при фиксированной кнопке «Н»; устанавливают режим работы кнопкой «Режим» (фиксированная кнопка соответствует режиму КЧСМ/КЧРМ, отжатая кнопка — режиму релаксации). После выполнения этих пунктов прибор готов к работе в выбранном режиме.

Измерение КЧСМ/КЧРМ. Измерения КЧСМ и КЧРМ проходят автоматически и последовательно, друг за другом. Измерения начинаются с нажатия кнопки «Пуск» — подается короткий звуковой сигнал и световые импульсы с частотой 10 Гц. Испытуемому отводится 2 с для подтверждения различения мельканий. Подтверждение осуществляется нажатием кнопки «Пуск». При нажатии кнопки «Пуск» подается короткий звуковой сигнал, а частота световых импульсов увеличивается на 1 Гц. Так продолжается до тех пор, пока за двухсекундный интервал не будет подтверждено различение миганий. На ЖК-дисплей выводятся значение КЧСМ и время принятия трудного решения. Под временем принятия трудного решения в этом случае понимают время между окончанием звукового сигнала и нажатием кнопки «Пуск» при последней различаемой частоте мелькания. После определения КЧСМ прибор автоматически начинает измерение КЧРМ с частоты световых мельканий в 65 Гц на уменьшение, с шагом в 1 Гц до начала различения мельканий. Под временем принятия трудного решения в этом случае понимают время между окончанием звукового сигнала и нажатием кнопки «Пуск» при первой различаемой частоте мелькания.

Конец испытания обозначается длинным звуковым сигналом. Значения КЧСМ и КЧРМ и время принятия трудного решения фиксируются на дисплее, пока подается внешнее питание. Лабильность нервной системы определяется как среднеарифметическое значение между КЧСМ и КЧРМ.

Релаксация органов зрения и коррекция дефектов импульсным монохромным светом. В настоящее время хроматическую импульсную светостимуляцию применяют не только для диагностики, но и для лечения различных заболеваний сетчатки и зрительного нерва [12]. Например, экспериментально было доказано, что после воздействия импульсного света длиной волны 550 нм (желто-зеленый) удается получить улучшение остроты зрения на 30 % в 89 % случаев. Частоту следования импульсов света устанавливали в зависимости от данных КЧСМ, снижая ее на 10...15 %. Время стимуляции — 3 мин. При стимуляции только зеленым цветом наблюдается нормализация артериального давления и даже некоторое его снижение [12]. Отмечается, что при снижении зрения резко снижается интенсивность световосприятия и цветовосприятия: красного цвета — при воспалительных поражениях диска зрительного нерва; синего, зеленого цвета — при сосудистых невропатиях, что может служить дифференциально-диагностическим критерием. Разработанный прибор позволяет проводить эти исследования, поскольку работает в диапазоне четырех цветов.

Считаем, что реабилитацию органов зрения операторов дронов нужно проводить последовательностью импульсов желто-зеленого цвета с частотой

на 10...15 % меньше зафиксированного значения КЧРМ, при этом последовательность должна быть близкой к меандру. Сеанс должен проходить под руководством специалиста и может длиться от 3 до 5 мин.

Лабораторные испытания прибора. Функциональные возможности разработанного прибора проверены экспериментально. Испытуемыми выступили десять учащихся девятых классов, не имеющие проблем со зрением. Все занимались в лаборатории радиоэлектроники Центра детского (юношеского) научно-технического творчества (г. Армавир) в течение полутора последних лет. В качестве зрительной нагрузки, до и после которой проводили измерение лабильности, были выбраны соревнования по скоростному демонтажу одинаковых электронных плат. Потратившему меньшее время на демонтаж и занявшему первое место был присвоен номер 1, занявшему второе место — номер 2, а занявшему третье место — номер 3. Все измерения были бинокулярными в диапазоне трех основных цветов: красный, зеленый и синий. Это позволило не только выявить технические возможности прибора, но и оценить влияние нагрузки на профессиональные компетенции людей с различной лабильностью [13]. Данные исследований КЧСМ/КЧРМ до и после нормированной нагрузки сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты бинокулярного исследования лабильности

Место	КЧСМ			КЧРМ			Лабильность		
	Красный	Зеленый	Синий	Красный	Зеленый	Синий	Красный	Зеленый	Синий
<i>До нагрузки</i>									
1	52,0	49,0	48,0	53,0	51,0	50,0	52,5	50,0	49,0
2	50,0	48,0	47,0	51,0	50,0	48,0	50,5	49,0	47,4
3	48,0	46,0	45,0	50,0	49,0	46,0	49,0	47,5	45,5
<i>После нагрузки</i>									
1	49,0	45,0	45,0	50,0	48,0	47,0	49,5	46,5	46,0
2	46,0	44,0	44,0	48,0	47,0	44,0	47,0	45,5	44,0
3	44,0	43,0	41,0	46,0	45,0	42,0	45,0	44,0	41,5

Изменение лабильности в ходе эксперимента удобно представить в виде графиков, изображенных на рис. 3.

Анализ табл. 2, рис. 3 и протоколов соревнований позволил выявить, что, контролируя показатели лабильности, можно судить о профессиональной предрасположенности к тому или иному роду деятельности.

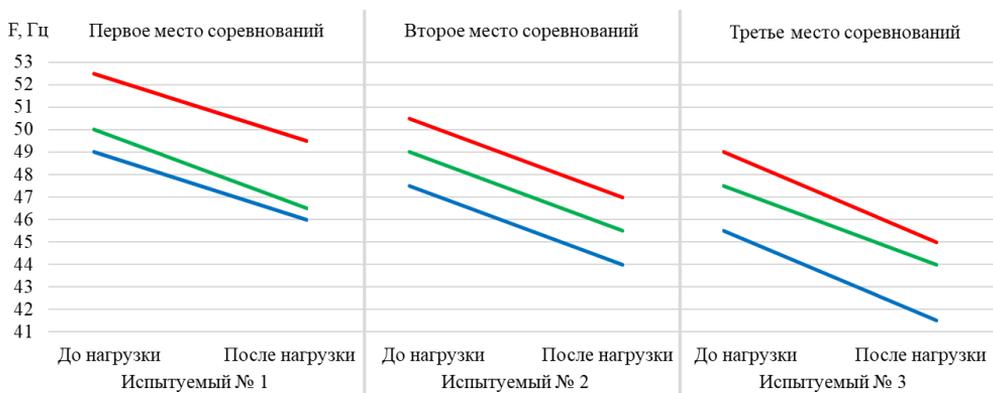


Рис. 3. Динамика изменения лабильности в ходе эксперимента при подаче световых мельканий

Было замечено, что изменение лабильности на зрительный раздражитель различного цвета различается как для каждого испытуемого, так и для испытуемых в сравнении. Выявленная особенность требует дополнительного исследования, которое будет проведено при дальнейшей работе над проектом.

Экономическая оценка. Была выполнена оценка себестоимости собранного устройства согласно средним розничным ценам торговых предприятий Армавира. Результаты оценки сведены в табл. 3. В дальнейшем планируется значительно снизить себестоимость за счет замены платформы Arduino на микроконтроллер AVR без дополнительных плат расширений.

Таблица 3. Результаты экономической оценки проекта

№ п/п	Наименование	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Корпус VR очков	1	1200	1200
2	Arduino Nano	1	600	600
3	LCD дисплей 16 × 2	1	300	300
4	ШИМ TL494	1	70	70
5	Аккумулятор 4,7 В	2	300	600
6	Контроллер питания 2 × 4,7 В	1	120	120
7	Зарядное устройство 2 × 4,7 В	1	300	300
8	RGB-светодиод	2	30	60
9	Транзисторы биполярные	2	10	20
10	Резисторы постоянные	10	1	10
11	Резистор переменный	1	30	30
12	Переключатель 1P4S	1	30	30
13	Кнопки с самофиксацией	5	30	150

Окончание табл. 3

№ п/п	Наименование	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
14	Кнопка выносная, без самофиксации	1	30	30
15	Корпус для выносной кнопки	1	80	80
16	Шнур для выносной кнопки	1	200	200
<i>Прочие расходы</i>				1200
<i>Итого</i>				5000

Заключение. В ходе выполнения проекта был создан прототип программно-аппаратного комплекса предпрофильного отбора и реабилитации операторов дронов методом контроля лабильности и коррекции зрения импульсным монохромным светом. В результате проведенных испытаний в лаборатории радиоэлектроники Центра детского (юношеского) научно-технического творчества г. Армавира была подтверждена его надежность в работе. Проведенное исследование позволило отследить, как изменяются показатели лабильности до и после нагрузки. Было выявлено, что при увеличении нагрузки на зрительные анализаторы показатели лабильности ухудшаются, длительная нагрузка негативно влияет на общее психическое состояние человека.

Заявленная и достигнутая новизна позволила получить патент на полезную модель № RU222767U1.

Литература

- [1] Баранов С.Н., Киселева М.М. Изменение показателей критической частоты слияния мельканий у студентов после физической нагрузки. *Universum: психология и образование*, 2017, № 7 (37). <https://7universum.com/ru/psy/archive/item/4972> (дата обращения 15.05.2024).
- [2] Оруджова О.Н., Шабунина Н.В. О требованиях, предъявляемых к приборам для определения критической частоты световых мельканий. *Научное обозрение. Технические науки*, 2018, № 5, с. 25–29.
- [3] Голубцов К.В. *Устройство контроля утомления зрения оператора или пользователя микровэем*. Патент № RU5079U1 РФ, 1997.
- [4] Голубцов К.В. *Устройство для контроля и снятия утомления зрения оператора ЭВМ*. Патент № RU9387U1 РФ, 1999.
- [5] Голубцов К.В., Айду Э.Й., Софронов П.Д. и др. *Устройство для снятия зрительного утомления оператора ЭВМ*. Патент № RU11059U1 РФ, 1999.
- [6] Середняков В.Е. *Способ измерения критической частоты слияния световых мельканий*. Патент № RU2119764C1 РФ, 1998.

- [7] Голубцов К.В., Куман И.Г., Хейло Т.С. и др. *Способ диагностики нарушений зрительных функций, способ восстановления зрительных функций и устройство для их осуществления*. Патент № RU2189168C2 РФ, 2002.
- [8] Ткаченко В.И., Старостин М.М., Ткаченко Н.В. и др. *Устройство для определения степени зрительного утомления*. Патент № RU2282811C1 РФ, бюл. № 24, 2005.
- [9] Кирой В.Н. *Физиологические методы в психологии*. Ростов-на-Дону, Изд-во ООО ЦВВР, 2003, 224 с.
- [10] Камиллов Х.М., Касимова М.С., Закирходжаев Р.А. Использование мелькающего света при дифференциальной диагностике патологии зрительного нерва. *Русский медицинский журнал*, 2012. URL: https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/Ispolyzovanie_melykayuschego_sвета_pri_differencialnoy_diagnostike_patologii_zritelnogo_nerva/# (дата обращения 15.05.2024).
- [11] Петров В.А., Черток А.Г., Шевченко Н.М. *Физиологические экспресс-методы в гигиенических исследованиях*. Владивосток, Медицина ДВ, 2017, 172 с.
- [12] Голубцов К.В. *Мелькающий свет в диагностике и лечении патологических процессов зрительной системы человека*. Дис. ... д-ра мед. наук, Одесса, 1992.
- [13] Бодров В.А., Орлов В.Я. *Психология и надежность: человек в системах управления техникой*. Москва, Изд-во Ин-т психологии РАН, 1998, 288 с.

Поступила в редакцию 28.06.2024

Яроцкий Федор Дмитриевич — ученик 10 класса МБУ ДО Центра детского (юношеского) научно-технического творчества, Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация.

Научный руководитель — Шишкин Евгений Маленович, педагог дополнительного образования высшей категории, заведующий лаборатории радиоэлектроники, МБУ ДО «Центр детского (юношеского) научно-технического творчества», Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация. E-mail: malenich62@mail.ru

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Яроцкий Ф.Д. Программно-аппаратный комплекс предпрофильного отбора и реабилитации операторов дронов. *Политехнический молодежный журнал*, 2024, № 06 (95). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/medsci/meed/1012.html>

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR PRE-PROFILE SELECTION AND REHABILITATION OF THE DRONE OPERATORS

F.D. Yarotsky

fedor.yar07@mail.ru

Municipal Budgetary Institution of Additional Education — Center for Children's (Youth) Scientific and Technical Creativity, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation

The project is dedicated to creation of a mobile hardware and software complex for pre-profile selection and rehabilitation of the drone operators. The device operation principle is based on monitoring the body physiological parameters, i.e. lability of the human nervous system, in candidates for the drone operator position by measuring critical frequency of flicker fusion, critical frequency of flicker discrimination and the time required to make a complex decision. The visual analyzer is rehabilitated by exposure to the pulsed light with the wavelength of 550 nm (yellow-green) and the frequency of 10 ... 15% less than the measured and registered value of the critical frequency of flicker discrimination for a specific drone operator. The device is made in the form of the VR glasses, has autonomous power supply and could be used in the field. The device successfully passed laboratory testing at the Armavir Center for Children's (Youth) Scientific and Technical Creativity.

Keywords: pulsed monochrome light, critical frequency of flicker fusion, critical frequency of flicker discrimination, complex decision-making time, nervous system lability, LCD display, Arduino Nano, professional predisposition

Received 28.06.2024

Yarotsky F.D. — 10th Grade Student, Municipal Budgetary Institution of Additional Education — Center for Children's (Youth) Scientific and Technical Creativity, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation.

Scientific advisor — Shishkin E.M., Lecturer in Additional Education of Supreme Category, Head of the Radio Electronics Laboratory, Municipal Budgetary Institution of Additional Education — Center for Children's (Youth) Scientific and Technical Creativity, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation. E-mail: malenich62@mail.ru

Please cite this article in English as:

Yarotsky F.D. Hardware and software complex for pre-profile selection and rehabilitation of the drone operators. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2024, no. 06 (95). (In Russ.). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/medsci/meed/1012.html>