

## Психофизиологические и эргономические аспекты восприятия зрительных образов формируемых средствами технического зрения

*Предметом исследований является установление психофизиологических закономерностей использования летным составом технических (инструментальных) средств представления внекабинного пространства и объектов для решения задач пилотирования и пространственной ориентировки. В летных испытаниях на вертолетах, оборудованных оптико-телевизионными и теплотелевизионными системами, получены научные данные, свидетельствующие о регулирующем влиянии образа пространственной ориентировки летчиков на эффективность и безопасность пилотирования. Установлены психофизиологические возможности и ограничения применения средств технического зрения, сформированы эргономические требования к их техническим характеристикам. Результаты исследований легли в основу формирования ТТЗ на вертолеты нового поколения, и могут быть полезны при конструировании информационного поля летательных аппаратов различного назначения.*

**Ключевые слова:** техническое зрение, оптический канал, телевизионный канал, теплотелевизионный канал, когнитивная эргономика, зрительный образ, инструментальная информация, летательный аппарат, вертолет, самолет, поле зрения, иллюзорные ощущения, сенсорный конфликт.

## Psychophysiological and ergonomic aspects of visual image perception formed by technical vision means

*The subject of research is establishing psychophysiological regularities of technical (instrumental) means for representing the out-of-cockpit space and objects for solving the problems of piloting and spatial orientation used by flight personnel. In flight tests carried out on helicopters equipped with optical-television and thermal television systems, scientific data are obtained, indicating the regulatory influence of pilots' spatial orientation image on the piloting efficiency and safety. The psychophysiological possibilities and limitations of using technical vision aids are established, and ergonomic requirements for their technical characteristics are formed. The research results provided the basis for making technical specifications for helicopters of a new generation, and can be useful in designing the information field of aircraft for various purposes.*

**Keywords:** technical vision, optical channel, television channel, thermal television channel, cognitive ergonomics, visual image, instrumental information, aircraft, helicopter, airplane, field of vision, illusory sensations, sensory conflict.

Как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях вопросов психофизиологического и эргономического обеспечения безопасности полетов с использованием технического зрения уделяется неослабное внимание: (А.В. Ананьев, С.В. Филатов, 2018) [1]; (Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, 2011) [2].

На современном этапе развития авиации началась разработка и использование средств технического зрения, работающих в оптическом, электронно-оптическом, телевизионном и теплотелевизионном каналах. С помощью этих средств, на вертолетах и самолетах, экипажам, на многофункциональных электронных индикаторах представляется изображение

внекабинного пространства, наземных и воздушных объектов.

Однако средства технического зрения, являясь посредником между человеком и внешним миром, в силу своих характеристик, вносят определенные изменения в процедуры восприятия и оценки формируемых изображений (В.В. Лапа, В.А. Пономаренко, А.В. Чунтул, 2013) [3]. В большей части это проявляется в процессе использования информации, представляемой средствами технического зрения, для решения сложных профессиональных задач, в числе которых являются задачи пилотирования летательных аппаратов (ЛА). (С.М. Соколов, 2021) [4]. В современных исследова-

ниях по проблемам технического (машинного зрения) в когнитивной эргономике обработка изображений опирается на несколько последовательных уровней восходящей информации по модульному принципу, который включает следующие этапы (Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, 2011) [2]: предобработка изображения; первичная сегментация изображения; выделение геометрической структуры видимого поля; определение относительной структуры и семантики видимой сцены.

Исследования, выполненные в полетах на вертолетах с различными (табл.1) техническими средствами отображения внекабинного пространства в дневных и ночных условиях показали, что решение летчиком задач пилотирования и поиска наземных объектов по изображению, формируемому системами технического зрения, является сложной совмещенной деятельностью. Основные причины затруднений летчика в полетах с использованием таких систем связаны как с их техническими характеристиками (недостаточные углы обзора внекабинного пространства, малые

скорости просмотра местности, недостаточная четкость представления объектов, необычность цветового фона подстилающей поверхности и т.п.), так и с изменениями психофизиологических закономерностей восприятия и регуляции действий летчика (невозможно оценить расстояние до наземных объектов и препятствий из-за отсутствия на изображении третьего измерения, возникновением иллюзорных представлений о пространственном положении вертолета и объектов из-за нечеткости линии естественного горизонта и др. (А.В. Чунтул, 2019) [6].

Как в отечественных, так и в зарубежных исследованиях важное значение имеет выявление оснований для классификация инструментальных (технических) средств отображения внекабинного пространства на ЛА (А.М. Федулин, 2020) [5], (U. Seeger, R. Seeger) [7]; (Yu. Visilter, 2002) [8] и др.

Классификация инструментальных (технических) средств отображения внекабинного пространства на ЛА, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Классификация инструментальных (технических) средств отображения внекабинного пространства на ЛА (по А.В. Чунтулу) [6]

<b>Классификация инструментальных (технических) средств отображения внекабинного пространства на ЛА (по А.В.Чунтулу)</b>	
Классификационный критерий	Классификация
По времени использования в течение суток	- Дневные, ночные, круглосуточные
По принципу формирования изображения	- На основе светового контраста (яркости объектов) в условиях высокого уровня освещенности - Путем электронно-оптического усиления контраста объектов в условиях низкого уровня освещенности - По тепловому (инфракрасному) контрасту объектов - На основе радиолокационного доплеровского эффекта - Комбинированное. - Синтезированное - на основе компьютерной обработки сигналов от электронно-оптических, инфракрасных и радиолокационных систем
По способу установки телекамеры (положения телеобъектива) относительно вертолета	- С изменяемым положением линии визирования телеобъектива. - С неизменным положением линии визирования телеобъектива
По количеству и размерам полей зрения объектива	- С одним полем зрения (широким или узким) - С двумя полями зрения (широким и узким) - С тремя полями зрения (широким, узким, переходным) - С вариообъективом
По соотношению кратности размеров объектов изображения на телеэкране и местности, охватываемой полем зрения телеобъектива	- Не изменяющие размеров объектов - Увеличивающие размеры объектов - Уменьшающие размеры объектов
По способу предъявления телевизионного изображения на экране	- С гиросtabilлизацией изображения - Без гиросtabilлизации изображения
По месту представления летчику изображения внекабинного пространства	- На приборной доске (многофункциональном электронном индикаторе) - На нащелкнутой системе целеуказания и индикации

Так, оценка эффективности пилотирования и пространственной ориентировки летчиков на вертолётах с использованием системы ночного видения, работающей на основе электронно-оптического усиления яркости контраста объектов показала, что использование объективов с различным фокусным расстоянием, дающими узкое и широкое поля зрения, позволяет улучшить летчику внекабинный обзор, поскольку имеется возможность дискретно рассматривать ближние и дальние объекты (табл. 2).

Однако в силу ограничения углов обзора

телеобъектива рассматривать большие участки местности, а также ближние и дальние объекты одновременно невозможно. Процесс перехода от просмотра местности в узком поле зрения к широкому и наоборот вызывал затруднения в узнавании летчиками видимого изображения. Наибольшие затруднения летчики испытывали в процессе перехода с широкого поля зрения на узкое, которые выражались, как правило, в потере наблюдаемого объекта. При этом летчикам казалось, что вертолёт как бы висит в пространстве, а весь окружающий мир движется вокруг.

Таблица 2. Эффективность использования систем технического зрения с различными полями зрения

Эффективность использования систем технического зрения с различными полями зрения:
-использование объективов, дающими узкое и широкое поля зрения, позволяет улучшить летчику внекабинный обзор. Однако в силу ограничения углов обзора телеобъектива рассматривать большие участки местности, а также ближние и дальние объекты одновременно невозможно;
-процесс перехода от просмотра местности в узком поле зрения к широкому и наоборот вызывал затруднения в узнавании летчиками видимого изображения;
-наибольшие затруднения летчики испытывали в процессе перехода с широкого поля зрения на узкое, которые выражались, как правило, в потере наблюдаемых объектов.

Этот факт психологически закономерен, поскольку, как было отмечено выше, представляемое техническими средствами изображение не является аналогом визуального мира из-за искажения скорости изменения размеров (расширение и удлинение или уменьшение предметов, расстояния между предметами и линией естественного горизонта, неадекватное увеличение или уменьшение скорости набега земли).

Затруднению ориентировки летчика на местности при использовании систем ночного видения способствуют также засветки на телеэкране внешними источниками света (огни домов, автомобилей, уличных фонарей и т.д.). По данным опросов летчиков, наличие засветок на телеэкране скрадывает расстояние до объектов, затрудняет их распознавание. Сте-

пень влияния засветок на качество изображения определяется их мощностью и удаленностью от объектов. В условиях, когда источник света находится в непосредственной близости от объектов, обнаружить их практически невозможно (табл. 3).

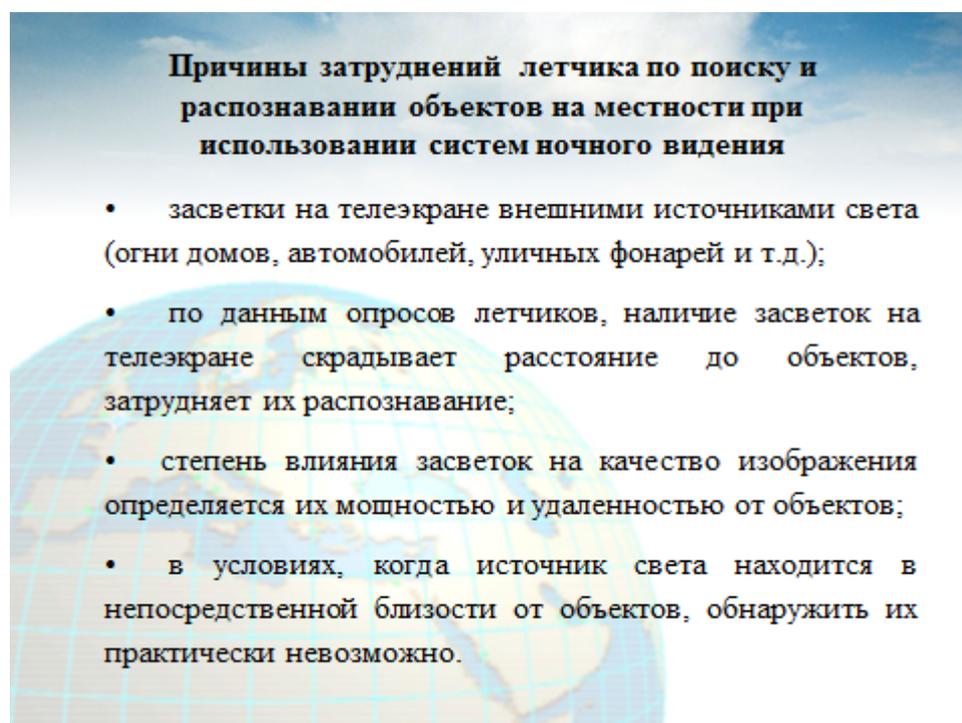
Вместе с тем использование телеизображения местности может привести к появлению у летчиков ряда иллюзорных ощущений, которые повышают возможность столкновения вертолета с препятствиями и потери пространственной ориентировки (табл. 4).

Так, если в телевизионное изображение попадали две контрастные поверхности (вспаханное поле и пустырь), находящиеся под углом к линии полета, у летчиков возникало кратковременное ощущение полета с креном. В полете над однородной подстилающей по-

верхностью в случаях, когда изображение естественного горизонта на экране отсутствует или размыто, у летчика появляется ощущение потери пространственного положения. Подобными ощущениями сопровождались полеты в горной местности. В исследованиях установлено, что при выполнении разворотов ниже вершин гор, когда на экране нет изображения естественного горизонта, склон горы может восприниматься как линия естественного горизонта. В это же время при горизонтальном полете по направлению к склону го-

ры расстояние воспринималось летчиками не как приближение к препятствию, а как уменьшение высоты полета. Причем, чем круче был склон горы, тем более выраженным было данное ощущение. Выполнение разворота сопровождается вращением телевизионного изображения относительно центра экрана, что воспринимается летчиком как вращение вертолета вокруг своей оси. А боковое скольжение в горизонтальном полете формирует у летчика ощущение прямолинейного полета (табл.4).

**Таблица 3. Причины затруднений лётчику по поиску и распознаванию объектов на местности при использовании систем ночного видения**



В свою очередь, ухудшение качества изображения на телеэкране затрудняет как процесс поиска объектов, так пилотирования. Объясняется это снижением психофизиологических возможностей летчика определять удаленность предметов, а, следовательно, и высоту полета по изображению местности на экране. Как известно, в процессе визуальных полетов у летчика формируется навык глазомерной оценки высоты полета путем определения угловых и линейных величин знакомых объектов: домов, кустов, деревьев, ЛЭП, телеграфных линий, и др. Расстояние до них оценивается также по тому, насколько различимы отдельные детали этих предметов, структура травяного покрова и т.д. Кроме того, большое значение имеют факторы бинокулярного восприятия глубины, человека в процессе дея-

тельности вырабатываются навыки глубинного глазомера. При пилотировании по телевизионному экрану, на котором представлено плоское (необъемное) изображение местности, роль факторов глубинного глазомера резко снижается.

Представленные выше материалы позволили установить, что использование летчиком технических (инструментальных) систем представления внекабинного пространства (зрения) сопровождается возникновением сенсорного конфликта, затруднениями при формировании правильных пространственных представлений по причине отсутствия возможности восприятия глубины (перспективы) пространства по двумерному изображению из-за необеспеченности бинокулярного, стереоскопического эффекта восприятия, а также

из-за необходимости совмещения двух задач: ведения пространственной ориентировки на местности и поиска объектов (по широкому полю зрения телевизионной системы) и распо-

знавания объектов (по узкому полю зрения) (табл. 5). Указанные факторы в совокупности приводят к возрастанию интеллектуальной нагрузки летчика.

Таблица 4. Условия проявления иллюзий у лётного состава вертолётов при использовании телензображения местности

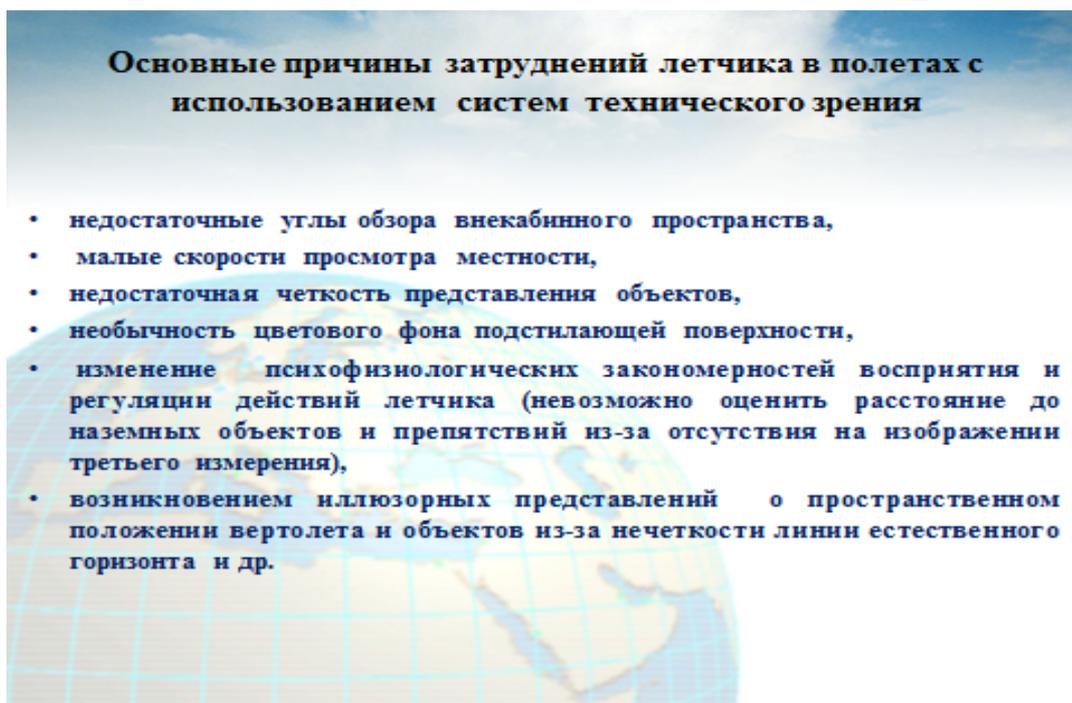
<b>Условия проявления иллюзий у летного состава вертолетов при использовании телензображения местности.</b>	
Иллюзии повышают возможность столкновения вертолета с препятствиями и потерю летчиком пространственной ориентировки	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• если в телевизионное изображение попадали две контрастные поверхности (вспаханное поле и пустырь), находящиеся под углом к линии полета, у летчиков возникало кратковременное ощущение полета с креном;</li> <li>• в полетах над однородной подстилающей поверхностью, в случаях, когда изображение естественного горизонта на экране отсутствует или размыто, у летчика появляется ощущение потери положения в пространстве и на местности;</li> <li>• при полетах в горной местности, в процессе выполнении разворотов ниже вершин гор, когда на экране исчезает изображения естественного горизонта, склон горы может восприниматься как линия естественного горизонта;</li> <li>• в процессе горизонтального полета по направлению к склону горы расстояние воспринималось летчиками не как приближение к препятствию, а как уменьшение высоты полета. Причем, чем круче был склон горы, тем более выраженным было данное ощущение;</li> <li>• выполнение разворотов сопровождается вращением телевизионного изображения относительно центра экрана, что воспринимается летчиком как вращение вертолета вокруг своей оси;</li> <li>• боковое скольжение в горизонтальном полете формирует у летчика ощущение поямоллинейного полета</li> </ul>	

Таблица 5. Эргономические особенности поиска и распознавания объектов для поддержки принятия решений лётчиком

<b>При современном уровне развития технологий использование летчиком технических (инструментальных) систем представления внекабинного пространства (зрения) сопровождается:</b>	
<p>а) возникновением сенсорного конфликта между информацией о внекабинном пространстве от средств технического зрения и прямого зрительного восприятия через остекление кабины;</p> <p>б) затруднениями при формировании правильных пространственных представлений по техническому изображению по следующим причинам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• отсутствия возможности восприятия глубины (перспективы) пространства по двумерному изображению из-за необеспеченности бинокулярного, стереоскопического эффекта восприятия;</li> <li>• из-за необходимости совмещения двух задач: ведения пространственной ориентировки на местности и поиска объектов (по широкому полю зрения телевизионной системы) и распознавания объектов (по узкому полю зрения).</li> </ul> <p><b>Указанные факторы в совокупности приводят:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- к возрастанию интеллектуальной нагрузки летчика в процессе формирования адекватных пространственных представлений;</li> <li>- проявлению иллюзорных ощущений;</li> <li>- снижению надежности пространственной ориентировки и качества пилотирования;</li> <li>- повышению вероятности риска снижения безопасности полета</li> </ul>	

Основные причины затруднений летчиков в полетах с использованием систем технического зрения представлены в таблице 6.

Таблица 6. Основные причины затруднений лётчика в полётах с использованием систем технического зрения



В целом процесс дальнейших разработок систем технического зрения должен сопровождаться обеспечением лётчику следующих психофизиологических требований:

- Формирование условий обеспечения повышенной ситуационной осведомленности экипажа о внекабинном пространстве, включение метрики пространственных параметров, в изображение формируемое системами технического зрения;

- Обеспечение безопасности полетов на основе представления лётчику систем учитывающих психофизиологические закономерности

сти и условия обеспечения формирования правильных психических образов регулирующих процесс пилотирования

Таким образом, представленные материалы свидетельствуют, что перспективные разработки систем технического зрения должны базироваться на основе знаний о когнитивных процессах оценки лётчиком ситуации в полетах и оперативного принятия решений, данное направление исследований является междисциплинарной сферой на стыке инженерной психологии, физиологии зрения и когнитивной эргономики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ананьев, А. В.** Обоснование нового способа совместного применения авиации и беспилотных летательных аппаратов малой дальности в операциях / А. В. Ананьев, С. В. Филатов // Военная Мысль. - 2018. - № 6. - С. 5-13.
2. **Визильтер, Ю. В.** Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов // В сборнике: Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010. Сборник трудов научно-технической конференции-семинара. - 2011. - С. 11-44.
3. **Лапа, В. В.** Психофизиология безопасности полетов / В. В. Лапа, В. А. Пономаренко, А. В. Чунтул. - М.:МОО «Ассоциация журналистов пишущих на правоохранительную тематику»; 2013.-396 с.
4. **Соколов, С. М.** Реализация алгоритмов обработки зрительных данных на бортовых вычислительных ресурсах /

## REFERENCES

1. **Ananiev A.V., Filatov S.V.** Justification of a New Way of Joint Use of Aircraft and Short-Range Unmanned Aerial Vehicles in Operations. *Voyennaya mys'* [Military Thought], 2018, no. 6, pp. 5-13.
2. **Vizilter Yu.V., Zheltov S.Yu.** Problems of Technical Vision in Aviation Systems. Proceedings of the Scientific and Technical Conference-Seminar "Technical Vision in Control Systems for Mobile Objects – 2010", 2011, pp. 11-44.
3. **Lapa V.V., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V.** Psychophysiology of Flight Safety. Moscow, Interregional Public Association "Association of Journalists Writing on Law Enforcement", 2013, 396 p.
4. **Sokolov S.M., Boguslavsky A.A., Romanenko S.A.** Implementation of the Visual Data Processing Algorithms for On-

С. М. Соколов, А. А. Богуславский, С. А. Романенко // Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – т. 9. - №2. – С. 106-111.

5. **Федулин, А. М.** Концептуальный подход к созданию наземной инфраструктуры машинного обучения систем технического зрения для беспилотной авиации / А. М. Федулин, В.С. Горбачевич, А.В. Осадчук // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». – 2020. - №11. – С. 32-38.

6. **Чунтул, А. В.** Эргономическое обеспечение разработки современных и перспективных систем «экипаж-вертолет-среда» / А. В. Чунтул // Эргодизайн. – 2019. - №4 (06). – С. 147–155. - doi:10.30987/2619-1512-2019-2019-4-147-155.

7. **Seeger, U.** Fast Corner Detection in Grey-Level Images / U. Seeger, R. Seeger // Pattern Recognition Letters. - 1994. - N. 15(7). - P. 669–675.

8. **Visilter, Yu.** Design of Morphological Operators Based on Selective Morphology / Yu. Visilter // SPIE Proc. Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.- Sun Jose. - 2002. - V. 4667.- P. 215–226.

board Computing Units. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics], 2021, vol. 9, no. 2, pp. 106-111.

5. **Fedulin A.M., Gorbachevich V.S., Osadchuk A.V.** A General Approach to the Trusted Machine Learning of the Unmanned Aircraft Vehicles Computer Vision Systems. *Polet* [All-Russian Scientific and Technical Journal “Flight”], 2020, no. 11, pp. 32-38.

6. **Chuntul A.V.** Ergonomic Support for the Development of Modern and Advanced Systems “crew-helicopter-environment”. *Ergodizayn* [Ergodesign], 2019, vol. 4, no. 6, pp. 147-155. DOI: 10.30987 / 2619-1512-2019-2019-4-147-155.

7. **Seeger U., Seeger R.** Fast Corner Detection in Grey-Level Images. *Pis'ma s raspoznavaniem obrazov* [Pattern Recognition Letters], 1994, vol. 15, no. 7, pp. 669-675.

8. **Visilter Yu.** Design of Morphological Operators Based on Selective Morphology. SPIE Proceeding of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Sun Jose, 2002, vol. 4667, pp. 215-226.

Ссылка для цитирования:

Чунтул, А. В. Психофизиологические и эргономические аспекты восприятия зрительных образов формируемых сред-ствами технического зрения / А. В. Чунтул // Эргодизайн. – 2021. - №4 (14). – С.306-312. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-4-306-312.

**Сведения об авторах:**

**Чунтул Александр Васильевич**

д.м.н., Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники.

ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля» (г.Москва)

E-mail: ChuntulAlexander<creiscorp@yandex.ru>

**Abstracts:**

**A.V. Chuntul**

Doctor of Medical Sciences, Prize Winner of the Government of the Russian Federation in the Field of Science and Technology.

JSC “Mil Moscow Helicopter Plant” (Moscow)

Статья поступила в редколлегию 15.10.2021 г

Статья одобрена после рецензирования 25.10.2021

Рецензент:

д.т.н., профессор Санкт-Петербургского государственного технического университета («ЛЭТИ им. В.И. Ульянова-Ленина») Падерно П.И.

Статья принята к публикации 03.11.2021 г.