

Д. В. ГАНСЕЦКИЙ

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТРУННЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И УЧАСТКОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ

*Государственное учреждение образования «Институт пограничной службы Республики Беларусь»*

*Анонсируется инновационный проект по созданию опытного образца многофункционального мобильного автоматизированного струнного робототехнического комплекса. Отличительная особенность проекта – мобильность в передислокации и максимальное использование искусственного интеллекта для решения задач по обеспечению безопасности охраняемого объекта или территории.*

### Введение

Во все времена безопасность любой страны и каждого государства, в первую очередь начиналась с границы. Как показало время, в XXI веке это не стало исключением, а приобрело еще больший смысл, актуальность и востребованность. Происходящие процессы в мире, связанные с такими угрозами как международный терроризм, наркотрафик, торговля людьми и незаконная миграция, заставляют многие государства осуществлять контроль на своих границах.

В Республике Беларусь охране Государственной границы уделяется особое внимание, как одной из первостепенных и приоритетных задач в обеспечении пограничной безопасности и безопасности страны в целом. Основу обеспечения надежной охраны границы составляет инженерное оборудование с оснащением участков границы техническими средствами охраны (ТСО), которые показывают свою высокую эффективность и надежность в обнаружении нарушителей и признаков нарушения границы, позволяют осуществлять контроль на сложных и труднодоступных участках границы, помогают пограничному наряду действовать на упреждение нарушения [1, 2].

Вместе с тем, основными актуальными проблемами в ТСО являются заблаговременное распознавание типа нарушителя

и способность отслеживания направления его движения.

В связи с изложенным, возникает необходимость создания качественных и современных интеллектуальных средств охраны (ИСО), отличительной особенностью которых будет [2]:

- непрерывный контроль за целостностью рубежа охраны;
- мобильность и точность определения конкретного места (участка) нарушения;
- возможность определения (распознавания) типа нарушителя;
- минимизация количества ложных тревог;
- возможность модернизации и совместимость работы с иными типами ИСО.

Сегодня на мировом рынке представлены разнообразные типы ИСО, однако многие из них по определенным конструктивным и технологическим особенностям не могут решать ряд вышеописанных задач либо решают их частично [2].

В данной статье автором представлен отечественный инновационный проект по созданию, разработке и методике применения современного ИСО – многофункционального автоматизированного струнного робототехнического комплекса (АСРК), отличительной особенностью которого, будет решение вышеописанных задач с использованием

искусственного интеллекта, нейросетевых технологий и мобильности в передислокации для точности определения конкретного места (участка) нарушения и распознавания типа нарушителя [2]. Также в данной статье описан принцип работы АСРК и представлена концепция управления данным робототехническим комплексом.

### Автоматизированный струнный робототехнический комплекс

Автоматизированный струнный робототехнический комплекс – это автоматизированное ИСО, предназначенное для патрулирования и охраны периметров особо важных объектов, сухопутных и водных участков границы и прибрежных акваторий. Также АСРК можно будет применять для охраны трубопроводов, заповедников, контроля движения по автомобильным и железным дорогам. Основу АСРК составляет мобильный робототехнический комплекс.

АСРК представляет собой мобильный робототехнический комплекс в виде передвижного модуля, оснащенного системой видеонаблюдения, тепловизором и переговорным устройством. Передвижной модуль может перемещаться в пространстве по натянутой рельсе-струне (монорельсу).

В комплект (состав) АСРК будут входить [2]:

- передвижной модуль, оснащенный системой видеонаблюдения, тепловизором и переговорным устройством;

- линейная часть, представленная чувствительным элементом в виде волоконно-оптического кабель-датчика, оптических муфт и волоконно-оптического кабеля связи;

- станционное оборудование, предназначенное для контроля, обработки, распознавания и отображения информации, полученной с системы видеонаблюдения, тепловизора и чувствительного элемента, а также для тестирования (проверки) работоспособности отдельных узлов и компонентов АСРК;

- зарядная станция – для зарядки аккумуляторной батареи (АКБ) передвижного модуля.

Общий вид АСРК представлен на рис. 1.

Система видеонаблюдения передвижного модуля АСРК будет представлена купольной поворотной роботизированной PTZ-видеокамерой с инфракрасной подсветкой, скоростным электроприводом (приводом, непрерывно поворачивающим камеру на 360 градусов вокруг своей оси, а также вверх и вниз относительно поверхности земли) и умными технологиями автоматизированного управления и реагирования.

В целях контроля за прилегающей местностью в периоды сложных погодных условий – снег, дождь, туман, песчаная буря и т.п., АСРК должен быть оснащен камерой тепловизионного наблюдения – тепловизором, с длиннофокусной оптикой, высоким разрешением матрицы и скоростным электроприводом, для

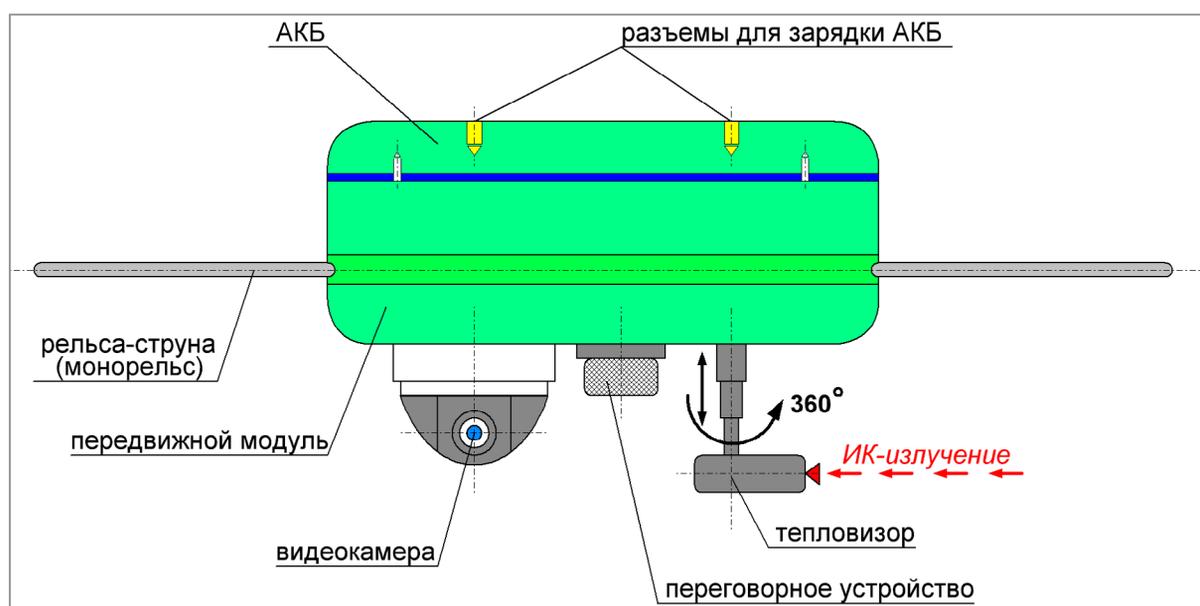


Рис. 1. Общий вид АСРК

непрерывного поворота тепловизора вокруг своей оси на 360 градусов и его передвижения в вертикальной плоскости (рис.1).

Переговорное устройство будет представлено динамиком для предупреждения и остановки нарушителя, а также осуществления двустороннего диалога.

Для осуществления передвижения по рельсу-струне (монорельсу) модуль необходимо оснастить шасси с автоматизированным электроприводом и источником питания.

В целях создания устойчивого положения конструкции при ветровых нагрузках, шасси АСРК представлено двухколесной полноприводной системой с автоматизированным электроприводом – оба колеса оснащены вентильными электродвигателями постоянного тока, которые работают по принципу «мотор-колесо» (рис.2). Реализация автоматизированного электропривода на вентильных электродвигателях постоянного тока позволит сделать корпус передвижного модуля АСРК более компактным, избавиться от дополнительных деталей, лишних преобразователей, а соответственно сделать весь привод механизма более надежным [3].

Также к достоинствам электроприводов на вентильных двигателях можно отнести: небольшие потери энергии, благодаря малому магнитному сопротивлению; высокую безопасность при работе на максимальных нагрузках; широкий интервал рабочих скоростей; высокую точность работы и динамику; плавное

переключение скоростей; отсутствие щеточно-коллекторного узла; возможность применения в агрессивной среде; более длительные сроки службы [3].

Источником питания для передвижного модуля АСРК выступает литий-ионная аккумуляторная батарея, которая является более оптимальной в плане электрохимических показателей – высокая энергоемкость, низкие саморазряды, внушительный набор циклов зарядов и разрядов.

Чувствительный элемент АСРК будет представлять собой волоконно-оптический кабель-датчик (ВОКД), разбитый с помощью оптических муфт (ОМ 1, ОМ 2, ..., ОМ n) на зоны охраны протяженностью от 100 до 500 м – для точности определения конкретного места (участка) нарушения (рис. 3). ВОКД, который является датчиком вибрационного типа, обычно монтируется на линейное ограждение охраняемого объекта либо территории.

В состав стационарного оборудования будут входить (рис. 3): автоматический блок контроля функционирования системы (БКФС); блок приёма-передачи сигнала (БППС), в котором будут находиться блок оптического передатчика (БОП) и блок фотоприемников (БФП) – оптический приёмник; блок обработки, распознавания и отображения сигналов (БОРОС), состоящий из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), перестраиваемого полосового фильтра (ППФ)

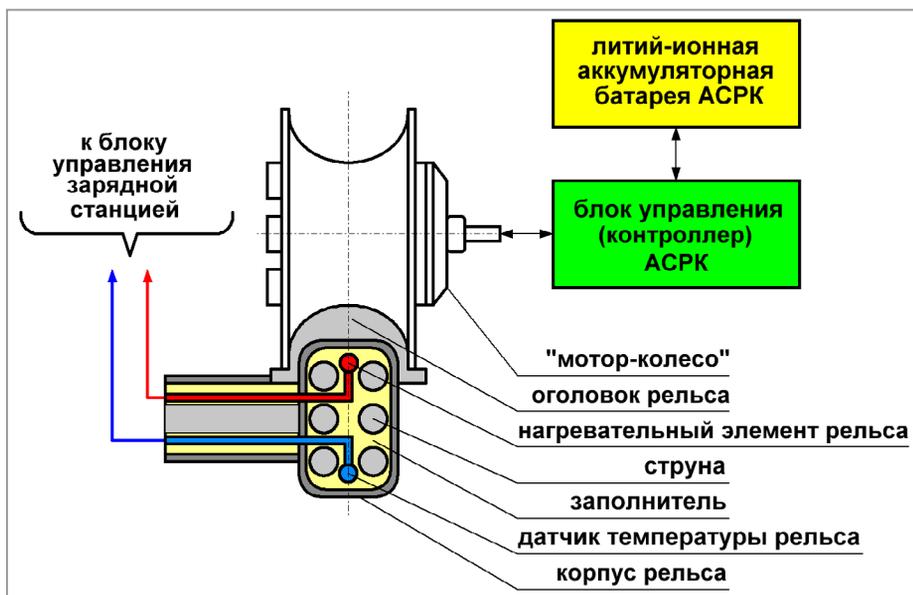


Рисунок 2 – Конструкция шасси АСРК и монорельса

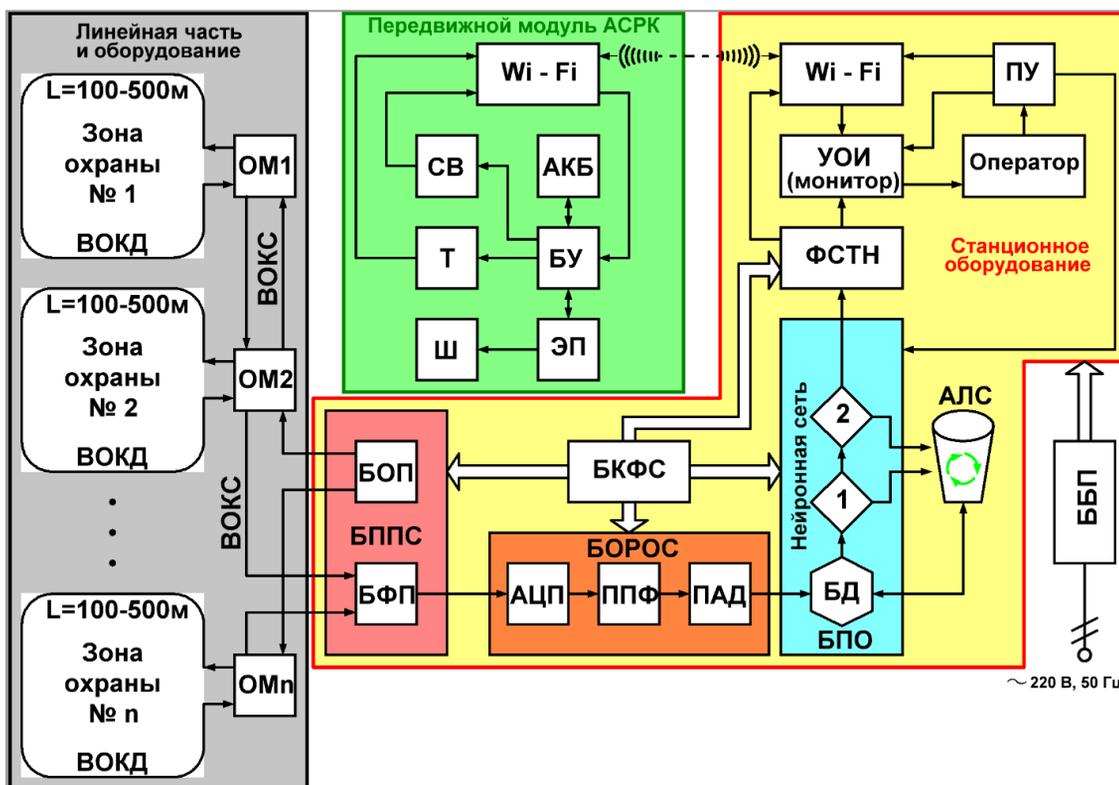


Рисунок 3 – Функциональная схема АСРК

и многопараметрического анализатора входных данных (ПАД); блок программного обеспечения (БПО), состоящий из базы данных (БД) и нейронной сети (блоки 1 и 2); архив ложных сигналов (АЛС); формирователь сигналов тревоги и неисправности (ФСТН); устройство отображения информации (УОИ) – монитор; пульт управления (ПУ) – клавиатура; блок бесперебойного питания (ББП); блок Wi-Fi, для беспроводной связи, дистанционного контроля и управления передвижным модулем АСРК, а также получения информации в режиме реального времени с системы видеонаблюдения (СВ) и тепловизора (Т) передвижного модуля АСРК [5, 6].

Зарядная станция АСРК (рис. 4) представлена автономной системой электропитания, которая осуществляет преобразование кинетической энергии ветра и световой энергии солнца в электрическую с возможностью дальнейшего накопления в блоке АКБ зарядной станции и непрерывного электроснабжения узлов и компонентов АСРК, а именно – электроснабжение электропривода (ЭП) устройства захвата АКБ передвижного модуля и её зарядки путем соединения через специальные разъёмы (рис. 1) и обогрев рельса-струны (монорельса) в случае его оледенения при низких температурах (рис. 2).

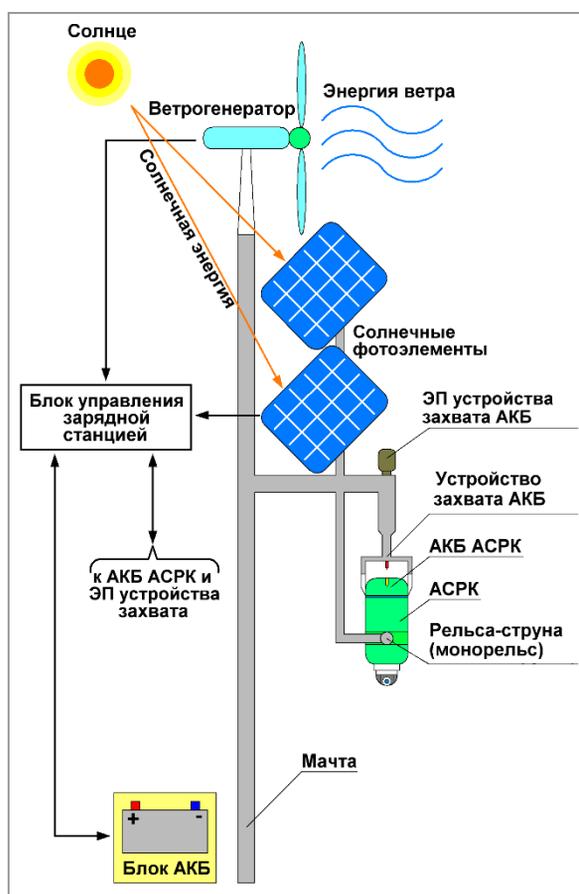


Рисунок 4 – Зарядная станция АСРК

### Принцип работы и концепция управления АСРК

Принцип работы АСРК будет заключаться в передвижении модуля вдоль рубежа охраны по рельсу-струне (монорельсу) и в мониторинге местности, прилегающей к рубежу охраны системой видеонаблюдения и тепловизором, с передачей полученных данных в пункт постоянной дислокации подразделения границы на пост оператора (дежурного) в режиме реального времени. В случае воздействия на чувствительный элемент, через станционную аппаратуру происходит обработка сигнала, и модуль немедленно передвигается к месту (участку) нарушения, где с помощью системы видеонаблюдения и тепловизора, осуществляется распознавание типа нарушителя [2, 4].

Более детально принцип работы и концепцию управления АСРК рассмотрим с помощью функциональной схемы АСРК, представленной на рис. 3. На рис.5 представлен рубеж охраны, оснащенный АСРК.

На каждом участке охраны волоконно-оптический кабель-датчик (ВОКД) (рис. 3) с помощью оптических муфт (ОМ 1, ОМ 2, ..., ОМ n) разбит на зоны охраны и смонтирован на заграждении рубежа охраны (рис. 5). Блок оптического передатчика (БОП) формирует синусоидальные световые сигналы в инфракрасном диапазоне, которые по многожильному волоконно-оптическому кабелю связи (ВОКС), через оптические муфты (ОМ),

поступают в ВОКД. При попытке преодоления заграждения, оно начинает деформироваться и создавать вибрации, которые в свою очередь передаются на ВОКД, а поскольку структура световой волны в оптическом волокне восприимчива к внешним воздействиям, то происходит искажение светового потока и меняются параметры оптического сигнала, прошедшего через ВОКД на блок фотоприемников (БФП). Изменившийся оптический сигнал преобразуется на БФП в электрический сигнал и оцифровывается на аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Далее сигнал фильтруется в перестраиваемом полосовом фильтре (ППФ), где осуществляется подавление нежелательных помех и поступает в многопараметрический анализатор входных данных (ПАД). Далее измеренные параметры обрабатываются в блоке программного обеспечения (БПО). С использованием базы данных (БД) и алгоритмов нейронной сети (блоки 1 и 2), происходит обработка и вычисление амплитуды поступившего сигнала. Далее обработанный сигнал поступает в формирователь сигналов тревоги и неисправности (ФСТН), который формирует звуковой сигнал «Тревога!» и отображает его на мониторе с указанием номера зоны охраны, где и происходит нарушение [7, 8]. Одновременно с этим, сигнал «Тревога!», через блоки Wi-Fi, передается на блок управления (БУ) передвижного модуля АСРК, который с помощью шасси (Ш) осуществляет передвижение

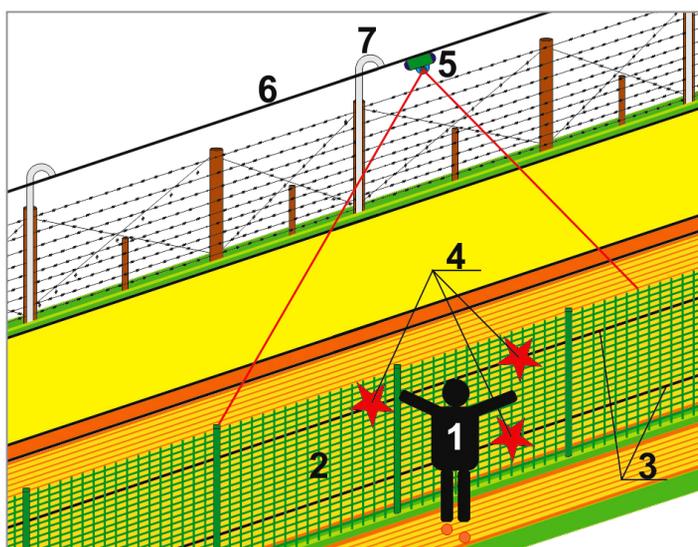


Рисунок 5 – Рубеж охраны границы, оснащенный АСРК:

1 – нарушитель; 2 – заграждение из сетки сварной; 3 – ВОКД; 4 – точки воздействия на заграждение и ВОКД; 5 – передвижной модуль АСРК; 6 – рельса-струна; 7 – опора рельса-струны



Рисунок 6 – Амплитуда сигнала при воздействии человека-нарушителя на заграждение



Рисунок 7 – Амплитуда сигнала при воздействии животного на заграждение

(передислокацию), в зону охраны, где происходит нарушение, для распознавания и определения типа нарушителя.

Применение нежестких нейросетевых алгоритмов (искусственного интеллекта) позволяет методом обучения классифицировать сигналы тревог на «ложные» – поступившие от воздействия на заграждение животными (кабан, лось, олень, собака, птица и т.д.) либо погодными условиями (порывистый ветер, крупный град, и т.д.), и «Тревога!» – поступившие от воздействия на заграждение человека либо техники.

В процессе эксплуатации системы АСРК, алгоритмы можно дообучать на те, или иные решения, исходя из конкретных условий применения. Обучение нейронных сетей математически выражается в подборе некоторых весовых коэффициентов нейронной структуры, при которых она с максимальной точностью разделяет примеры «ложных» сигналов от примеров сигналов «Тревога!». Процесс обучения состоит в создании в БПО компьютера БД с амплитудами «ложных» сигналов и сигналов «Тревога!», которые будут обрабатываться,

вычисляться и сравниваться в блоках 1 и 2. Если сигнал окажется не ложным, то программа сформирует сигнал «Тревога!», а если сигнал окажется «ложным», то он программой автоматически отфильтруется и сохранится в архиве ложных сигналов (АЛС) с последующей записью в БД.

Пример, когда программа безошибочно определила сигнал «Тревога!» от воздействия вторжения человека-нарушителя и отнесла его в список «Тревоги», а также отфильтровала «ложный» сигнал от воздействия животного, представлен на рисунках 6 и 7 соответственно.

Передвижной модуль АСРК работает в автоматическом режиме, но в случае необходимости может быть переведен на ручное управление оператором (дежурным).

#### Методика применения АСРК

Применять АСРК более всего рационально на направлениях вероятного движения нарушителей границы, на направлениях контрбандной деятельности и для прикрытия флангов пункта пропуска. Это позволит: в режиме

реального времени осуществлять дистанционный контроль за прилегающей местностью к государственной границе; повысить надёжность охраны границы и вероятность обнаружения нарушителей; перейти от охраны государственной границы подвижными пограничными нарядами к реагированию на изменения обстановки; прикрывать отдельно взятое направление либо участок в ходе проведения поисковых мероприятий; собрать неопровержимые доказательства попытки нарушения государственной границы [2, 4].

### Заключение

В работе рассмотрен проект интеллектуального средства охраны – автоматизированного струнного робототехнического комплекса. Произведено его подробное описание, изложен принцип работы и концепция управления. Новизна разрабатываемого робототехнического комплекса заключается в выборе нестандартной оптимизированной конструкции корпуса и ходовой части, мобильности при передислокации (передвижении) и максимальное использование искусственного интеллекта для решения задач по обеспечению безопасности охраняемого объекта или территории. Для придания комплексу свойств интеллектуальности, поставлена задача разработки методов, алгоритмов и программных средств

распознавания ситуаций на границе посредством нейронных сетей и других технологий искусственного интеллекта. В связи с применением технологий искусственного интеллекта стоит задача выбора наиболее оптимальных типов (видов) нейронных сетей, их обучение и проведение дальнейших исследований в целях синтеза, обработки и получения информации для оптимального управления комплексом в целом. Основным недостатком АСРК при охране участка границы, будет являться малая протяженность охраняемого участка, примерно 1–1,5 км, так как нерационально его использовать в охране всего участка подразделения границы, протяженность которого может составлять от 15 до 30 км. При использовании АСРК на больших расстояниях, передвижной модуль просто не успеет своевременно передислоцироваться к месту нарушения и зафиксировать нарушителя. Вместе с тем, для охраны протяженного участка границы, могут использоваться несколько передвижных модулей АСРК. В целях охраны участков границы с неблагоприятным радиационным фоном, АСРК может быть дополнительно оснащен прибором контроля радиационной обстановки и найти широкое применение на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Черноволова, А.** РЕПОРТАЖ: В режиме реального времени: как умные технологии помогают пограничникам в охране рубежей [Электронный ресурс] / А. Черноволова. – 2021. – Режим доступа: <https://www.belta.by>. – Дата доступа 08.01.2021.
2. **Гансецкий, Д. В.** Автоматизированный струнный робототехнический комплекс как прообраз интеллектуальной системы охраны границы / Д. В. Гансецкий // Современные технологии обеспечения пограничной безопасности: материалы науч.-практ. конф., Минск, 29 ноября 2018 г.: в 2 ч. / ГУО «ИПС РБ»; редкол.: О. Г. Машаров [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 28–31.
3. **Гансецкий, Д. В.** Электроприводы мобильных робототехнических комплексов / Д. В. Гансецкий // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: материалы VII междунар. науч.-техн. интернет-конференции, Минск 16 ноября 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2019. – С. 193–200.
4. **Гансецкий, Д. В.** Тактика применения автоматизированного струнного робототехнического комплекса в охране границы / Д. В. Гансецкий // Перспективы развития тактики, инженерного, технического и тылового обеспечения современного боя (к 75-летию начала Великой Отечественной войны): материалы 69-й респуб. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, адъюнктов и аспирантов военно-технического факультета в Белорусском национальном техническом университете, Минск, 25 мая 2016 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2016. – С. 125–127.
5. Волоконно-оптические периметровые средства обнаружения «ВОРОН». Построение системы защиты периметра на их основе [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.prf-vozon.ru/index.php/produktiya>. – Дата доступа 06.10.2020.
6. Извещатель охранный линейный волоконно-оптический ИО 212–2 «ВОРОН-2М–С» // Руководство по эксплуатации. – Москва, 2004.
7. **Русанов, А. Ю.** Волоконно-оптические периметровые комплексы обнаружения серии ВОРОНТМ (часть 1) / А. Ю. Русанов // Журнал «Безопасность». – 2010. – № 2. – С. 2–4.

8. **Русанов, А. Ю.** Технология ВОРОНТМ. Волоконно-оптические распределенные сенсоры для обеспечения безопасности объектов / А. Ю. Русанов // Журнал «Интеграл». – 2013. – № 3. – С. 18–22.

### REFERENCES

1. **Chernovolova, A.** REPORT: In Real Time: How Smart Technologies Help Border Guards [Electronic resource] / A. Chernovolova. – 2021. – Access mode: <https://www.belta.by>. – Date of access 08.01.2021.
2. **Hansetski, D. V.** Automated stringed robotic complex as a prototype of an intelligent border guard system / D. V. Hansetski // Modern technologies for ensuring border security: scientific and practical materials. conf., Minsk, November 29, 2018: 2 hours / SEE «IBG RB»; editorial board: O. G. Masharov [et al.]. – Minsk, 2019. – Part 1. – P. 28–31.
3. **Hansetski, D. V.** Electric drives of mobile robotic complexes / D. V. Hansetski // Information technologies in education, science and production: materials of the VII international. scientific and technical internet conference, Minsk November 16, 2019 / Belarus. nat. tech. un-t. – Minsk, 2019. – P. 193–200.
4. **Hansetski, D. V.** Tactics of using an automated stringed robotic complex in border protection / D. V. Hansetski // Prospects for the development of tactics, engineering, technical and logistical support of modern combat (to the 75th anniversary of the beginning of the Great Patriotic War): materials of the 69th republic. scientific and technical conf. faculty, adjuncts and graduate students of the military-technical faculty at the Belarusian National Technical University, Minsk, May 25, 2016 / Belarus. nat. tech. un-t. – Minsk, 2016. – P. 125–127.
5. Fiber-optic perimeter detection means «VORON». Construction of a perimeter protection system based on them [Electronic resource]. – 2020. – Access mode: <https://www.prf-voron.ru/index.php/produktsiya>. – Date of access 06.10.2020.
6. Security line fiber-optic detector IO 212–2 «VORON-2M-S» // Operation manual. – Moscow, 2004.
7. **Rusanov, A. Yu.** Fiber-optic perimeter detection systems of the VORON-TM series (part 1) / A. Yu. Rusanov // Security magazine. – 2010. – № 2 – P. 2–4.
8. **Rusanov, A. Yu.** VORON-TM technology. Fiber-optic distributed sensors to ensure the safety of objects / A. Yu. Rusanov // Magazine «Integral». – 2013. – № 3 – P. 18–22.

*Поступила*  
01.08.2020

*После доработки*  
17.02.2021

*Принята к печати*  
01.03.2021

*HANSETSKI D. V.*

## **AUTOMATED STRINGED ROBOTECNICAL COMPLEX AS A PROSPECTIVE METHOD FOR MONITORING OF OBJECTS' SAFETY AND STATE BORDER AREAS**

*An innovative project to create a prototype of a multifunctional mobile automated stringed robotic complex is announced. A distinctive feature of the project is the mobility in relocation and the maximum use of artificial intelligence to solve problems of ensuring the security of a protected object or territory.*



**Гансецкий Дмитрий Валерьевич**, доцент ГУО «ИПС РБ», сфера интересов: технические средства охраны границы.

**Hansetski Dzmityr Valerievich**, Associate Professor of the State Educational Establishment «Institute of the Border Service of the Republic of Belarus», area of interest: technical means of border protection.

E-mail: [dmitry.gansetsky@yandex.ru](mailto:dmitry.gansetsky@yandex.ru).