УДК 004.8

© 2019 г. **О.С. Амосов**, д-р техн. наук,
С.Г. Амосова, канд. техн. наук
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва),
Ю.С. Иванов, канд. техн. наук,
Со Хтайк
(Комсомольский-на-Амуре государственный университет)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ*

Предложен интеллектуальный регулятор для системы контроля и управления доступом физических лиц и транспортных средств с использованием средств видеонаблюдения. Построена математическая модель системы контроля и управления доступом с использованием интеллектуального регулятора, позволяющая реагировать как на штатные, так и на нештатные ситуации. Разработан стенд для отладки и тестирования распознавания физических лиц и управления их доступом. Приведен иллюстрирующий пример для доступа физических лиц.

Ключевые слова: интеллектуальный регулятор, система контроля и управления доступом, видеонаблюдение, распознавание образов, нечеткая логика.

DOI: 10.22250/isu.2019.60.16-31

Введение

В настоящее время система контроля и управления доступом (СКУД) широко применяется в различных сферах человеческой деятельности: в быту, в промышленности, на предприятиях. На данный момент существует множе-

* Работа выполнена по тематике государственного задания проектной части №2.1898.2017/4.6 «Создание математического и алгоритмического обеспечения интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы безопасности вуза».

ство созданных СКУД, отличающихся друг от друга конструкцией, электромеханической системой, интеллектуальной системой, набором датчиков и исполнительных устройств. Основной сложностью является большое разнообразие аппаратных средств, входящих в состав СКУД. Поэтому наиболее эффективное направление – создание совершенных подходов управления на базе универсального набора аппаратно-программных средств, достаточных для работы СКУД при минимальном количестве вносимых изменений.

При организации СКУД наиболее распространенным методом идентификации объекта является использование радиочастотных меток RFID [1]. Однако использование только этой технологии имеет ряд недостатков: метка может быть скопирована или украдена злоумышленником; высокая стоимость внедрения и обслуживания; для считывания требуются дополнительные действия. Для повышения эффективности СКУД, как правило, используют как гибридные технологии, совмещающие в себе радиочастотные метки и методы компьютерного зрения [2, 3], так и подходы, построенные на интеллектуальной видеоаналитике [4]. Интерес представляет создание комбинированной системы, сочетающей технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения.

Цель данной работы – разработка интеллектуального регулятора для системы контроля и управления доступом физических лиц, транспортных средств, а также определения штатных и нештатных ситуаций с использованием нейронных сетей и нечеткой логики.

1. Постановка задачи

Необходимо разработать математическую модель СКУД физических лиц, транспортных средств при штатных и нештатных ситуациях, в которой используется интеллектуальный регулятор (ИР).

Необходимо создать ИР, обладающий особенностями, характеристиками, базовыми свойствами и правилами управления для работы любой СКУД физических лиц, транспортных средств.

Интеллектуальный регулятор для СКУД предлагается строить из двух частей в соответствии с принципом разделения. С помощью первой части решается задача оценки состояния объекта наблюдения. Второй блок – это детерминированный субоптимальный регулятор, который предлагается реализовать с помощью системы нечеткой логики.

Задача оценки состояния распределенного объекта наблюдения и управления решается с помощью современных нейросетевых и нечетких техноло-

гий распознавания образов, используемых в настоящее время в системах компьютерного зрения.

1.1. Математическая формулировка задачи контроля и управления доступом.

В работе [5] нами предлагается структурная схема интеллектуальной СКУД на основе кибернетического подхода для задачи доступа транспортных средств на территорию организации. Она была взята за основу при решении задачи доступа физических лиц, распознавания штатных и нештатных ситуаций. СКУД состоит из устройства управления (УУ), управляемого преграждающего устройства (УПУ), камеры наблюдения (КН) и устройств внешней подсветки (УВП). При появлении объекта на контрольно-пропускном пункте (КПП) необходимо разрешить или запретить ему доступ на охраняемую территорию и записать событие в базу данных (БД).

Приведем универсальную математическую модель СКУД физических лиц (ФЛ), транспортных средств (ТС) при штатных и нештатных ситуациях с использованием ИР.

Пусть имеются:

вектор состояний СКУД $\mathbf{x} = \left(\mathbf{x}_{\text{ОД}}^T, \mathbf{x}_{\text{КН}}^T, x_{\text{УПУ}}, x_{\text{УВП}}, \mathbf{x}_{\text{ВС}}^T\right)^T$, где $\mathbf{x}_{\text{ОД}}^T$ – вектор состояний объекта доступа (ОД); $\mathbf{x}_{\text{КН}}^T$ – вектор состояний КН; $x_{\text{УПУ}}$ – состояние УПУ; $x_{\text{УВП}}$ – состояние УВП; $\mathbf{x}_{\text{ВС}}^T$ – вектор состояний внешней среды (ВС);

вектор выходных сигналов (измерений) для СКУД $\mathbf{y} = \left(y_{\text{НВ}}, \mathbf{y}_{\text{ОД}}^T, y_{\text{УПУ}}, y_{\text{УВП}}, \mathbf{y}_{\text{ВС}}^T\right)$, где $y_{\text{НВ}}$ – наличие кадра $\mathbf{I}_t = \mathbf{V}(t)$ с камеры наблюдения видеопотока $\mathbf{V}(t)$, представленного многомерным массивом; $\mathbf{y}_{\text{ОД}}^T$ – сигнал с КН, причем $\mathbf{y}_{\text{ОД}}^T = \mathbf{I}_t$; $y_{\text{УПУ}}$ – сигнал с УПУ; $y_{\text{УВП}}$ – сигнал с УВП; $\mathbf{y}_{\text{ВС}}^T$ – вектор сигналов с датчиков, фиксирующих состояние ВС.

Необходимо по результатам наблюдений $\mathbf{y}$ состояний ОД $\mathbf{x}$ выработать оценки состояний $\tilde{\mathbf{x}}$ и необходимые управляющие воздействия $\mathbf{u}$ на объект управления, $\mathbf{u} = \left(\mathbf{u}_{\text{УПУ}}^T, \mathbf{u}_{\text{УВП}}^T, u_{\text{БД}}\right)^T$, где $\mathbf{u}_{\text{УПУ}}$ – сигнал на открытие или закрытие УПУ, $\mathbf{u}_{\text{УВП}}$ – сигнал на УВП, $u_{\text{БД}}$ – сигнал на запись события в БД.

Каждый из векторов принадлежит соответствующему множеству: состояний $\mathbf{x} \in \mathrm{X}$, их оценок $\tilde{\mathbf{x}} \in \tilde{\mathrm{X}}$, видеопотоков $\mathbf{V} \in \mathrm{V}$, выходных сигналов $\mathbf{y} \in \mathrm{Y}$ и управлений $\mathbf{u} \in \mathrm{U}$. T – множество моментов времени, тогда $t \in \mathrm{T}$ – произвольный момент времени. Функциональные зависимости на X, Y и U могут быть представлены в виде отображений «вход-состояние»

$\mathbf{F}_1 : \mathrm{T} \times \mathrm{U} \to \mathrm{X}$ и «состояние-выход» $\mathbf{F}_2 : \mathrm{T} \times \mathrm{X} \to \mathrm{Y}$, т.е. $\mathbf{y}(t) = \mathbf{F}_2(\mathbf{F}_1(\mathbf{u}(t)))$.

Таким образом, ставится задача по кадру видеопотока определить состояние системы, включающее наличие объекта доступа (НОД), тип объекта доступа (ТОД), наличие кодового признака (НКП), состояние качества кодового признака (СКП) и его значение (ЗКП) с использованием отображения: $\mathbf{F}_3 : \mathrm{V} \to \widetilde{\mathrm{X}}$. Тогда отображение $\mathbf{F}_3$, реализующее функцию нелинейного фильтра (НФ) для оценки состояния ОД [6], можно представить в виде $\widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ОД}} = \mathbf{F}_3(\mathbf{I}_t)$, где $\widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ОД}} = \left(\widetilde{\mathbf{x}}_{\text{НОД}}, \widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ТОД}}, \widetilde{\mathbf{x}}_{\text{НКП}}, \widetilde{\mathbf{x}}_{\text{СКП}}, \widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T\right)^T$ и представляет собой задачу распознавания образов.

Пусть имеются: множество образов $\omega \in \Omega$, заданных признаками x_i, $i = \overline{1,n}$, совокупность которых для образа ω представлена векторными описаниями $\mathbf{\Phi}(\omega) = (x_1(\omega), x_2(\omega), \ldots, x_n(\omega)) = \mathbf{x}_{\text{ОД}}$; множество классов $\mathrm{B} = \{\beta_1, \ldots, \beta_k, \ldots, \beta_c,\}$, где c – количество классов. Априорная информация представлена обучающим множеством (датасетом) $\mathrm{D} = \left\{\left(\mathbf{x}_{\text{ОД}}^j, \beta^j\right)\right\}, j = \overline{1,L}$, заданным таблицей, каждая строка j которой содержит векторное описание образа $\mathbf{\Phi}(\omega)$ и метку класса β_k, $k = \overline{1,c}$. Заметим, что обучающее множество характеризует неизвестное отображение ${}^*\mathbf{F} : \Omega \to \mathrm{B}$.

Требуется по имеющимся кадрам $\mathbf{I}_t$ непрерывного видеопотока $\mathbf{V} = (\mathbf{I}_1, .., \mathbf{I}_t, .., \mathbf{I}_\tau)$ и априорной информации, заданной обучающим множеством $\mathrm{D} = \left\{\left(\mathbf{x}_{\text{ОД}}^j, \beta^j\right)\right\}, j = \overline{1,L}$ для глубокого обучения нейронной сети (НС) с учителем, решить задачу распознавания образов: обнаружить образы ω в виде оценки признаков $\widetilde{\mathbf{x}}$ с помощью НС, реализующих отображение $\mathbf{F}_4 : \mathbf{I}_t \to \widetilde{x}_{\text{НОД}}$, и классифицировать их с использованием отображения $\mathbf{F}_5 : \widetilde{\mathbf{x}} \to \beta_k$, $k = \overline{1,c}$ в соответствии с заданным критерием $\mathrm{P}(\widetilde{\mathbf{x}})$, минимизирующим вероятность ошибки классификации. Отображение $\mathbf{F}_5$ – это определение значений элементов $\widetilde{x}_{\text{ТОД}}, \widetilde{x}_{\text{НКП}}, \widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T$ и является набором функций и нейросетевых и классических алгоритмов компьютерного зрения $\mathbf{f}_i$, $i = \overline{1,N_f}$.

По параметрам $\widetilde{\mathbf{x}}_{\text{ОД}}$ элемент сравнения (ЭС) проверяет вхождение ОД в базу разрешенных $\mathbf{D}^{allow}$ из БД и БЗ и определяет штатную или нештатную ситуацию в соответствии с выражением

$$s = \mathbf{F}_6(\widetilde{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 1, \text{если } \widetilde{\mathbf{x}} \in \mathbf{D}^{allow}, \\ 0, \text{если } \widetilde{\mathbf{x}} \notin \mathbf{D}^{allow}, \end{cases} \tag{1}$$

где $s = \{0,1\}$ – штатная или нештатная ситуация. Наличие отклонения одного из параметра состояния ОД от заложенных в $\mathbf{D}^{allow}$ возможных значений для каждого ОД переводит систему в режим нештатной ситуации.

Воздействия $\mathbf{u}$ на УВП и УПУ описываются отображением $\mathbf{F}_7 : \widetilde{\mathrm{X}} \to \mathrm{U}$ и могут быть представлены набором правил БЗ нечеткой экспертной системы.

Отображение $\mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_7$ предлагается реализовывать с помощью традиционных методов компьютерного зрения, нейронных сетей и нечеткой логики [5 – 9].

2. СКУД с использованием интеллектуального регулятора

2.1.Структурная схема СКУД с использованием ИР.

Рассмотрим применение ИР для СКУД в задаче доступа физических лиц (рис. 1).

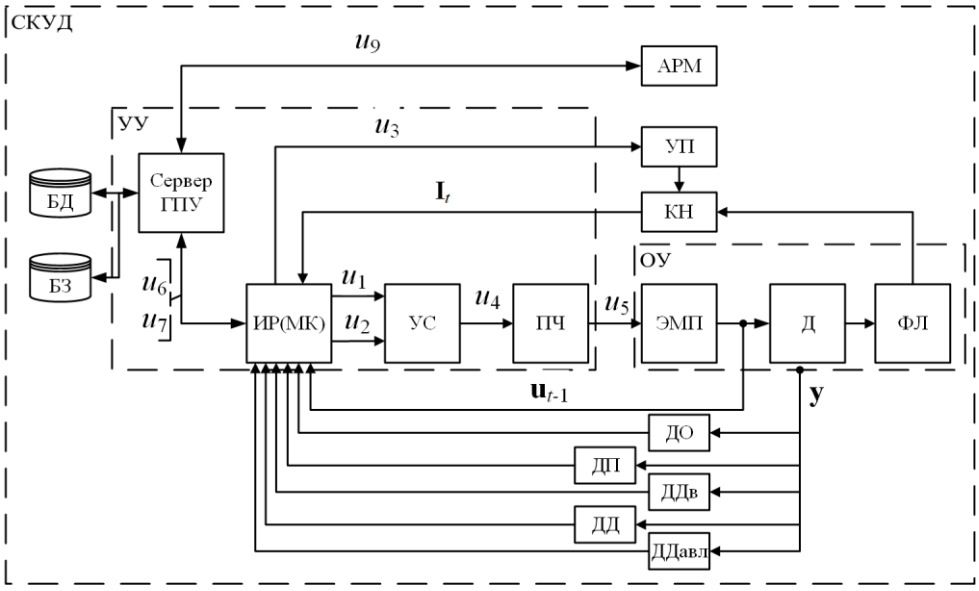

Рис. 1. Структурная схема СКУД с использованием ИР.

На схеме используются обозначения: УУ – устройство управления; сервер ГПУ – графический процессор управления; МК – микрокомпьютер; УС – устройство сопряжения; ПЧ – преобразователь частоты; ОУ – объект управления; ЭМП – предложенный нами оригинальный электромеханический преобразователь [10, 11]; Д – дверь; ФЛ – физическое лицо; КН – камера наблюдения; УП – устройство подсветки; АРМ – автоматизированное рабочее место оператора охраны; ДО – датчик освещенности; ДП – датчик присутствия; ДДв – датчик движения; ДД – датчик дыма; ДДавл – датчик давления.

Вектор управляющих сигналов $\mathbf{u} = (u_1,\ldots,u_7)^T$, где u_1 – направление (от-

крыть или закрыть); u_2 – частота вращения привода; u_3 – управление подсветкой; u_4 – закон управления приводом; u_5 – эхо-запросы; u_6 – уровень доступа; u_7 – сигнал тревоги; вектор выходных сигналов (реакций) $\mathbf{y} = (\mathbf{y}_1,\ldots,y_{10})^T$; y_1 – параметры привода, состоящие из значений напряжения и частоты; y_2 – наличие кадра $\mathbf{I}_t = \mathbf{V}(t)$ видеопотока $\mathbf{V}(t)$ с КН; y_3, y_4,…, y_9 – показания датчиков движения, освещения, давления (3 шт.), присутствия, дыма, y_{10} – количество человек в кадре.

Алгоритм работы системы. Запуск системы из режима «сна» в «активный» режим происходит по фиксации движения с помощью пироэлектрического инфракрасного датчика. Далее система проверяет уровень освещения и с помощью нечеткой логики включается необходимая мягкая подсветка [12] для улучшения видеоизображения при распознавании лица. После установления приемлемого уровня освещения выполняется локализация людей с использованием нейросетевого и нечеткого подходов [7]. Принятие решения о разрешении доступа в помещение регламентируется БЗ с выработанными утверждениями для штатной или нештатной ситуации (1).

2.2.Аппаратно-программное обеспечение ИР для СКУД.

Аппаратно-программное обеспечение ИР для СКУД состоит из следующих основных компонент: устройства управления, одноплатного МК; камеры и датчиков наблюдения; сервера ГПУ; оригинального электромеханического преобразователя с преобразователем частоты; устройства сопряжения; устройства внешней подсветки.

ПЧ ACS350 (рис. 2) необходим для удаленного управления электрическим приводом, организации собственной защиты двигателя от перегрузки и короткого замыкания, а также реализации заданных эксплуатационных режимов работы привода.

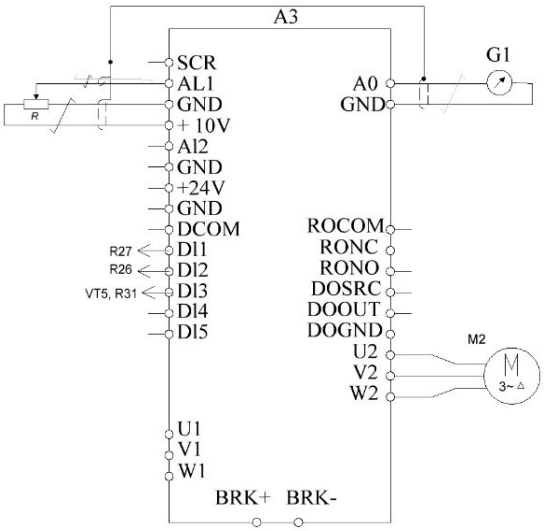

Рис. 2. Схема преобразователя частоты ACS350.

Однако существенным недостатком данного ПЧ является требование к номинальному напряжению на цифровых управляющих входах в 24 В, тогда как большинство МК (класса Raspberry и др.), выполняющих функции нечеткого регулятора, ориентированы на 3 – 5-вольтовую логику. Для решения данной проблемы было разработано устройство сопряжения ПЧ ACS350 [13] (рис. 3) для МК Raspberry Pi, управляющее ЭМП с помощью сигналов последовательного интерфейса, реализованного на базе микросхемы FTDI232.

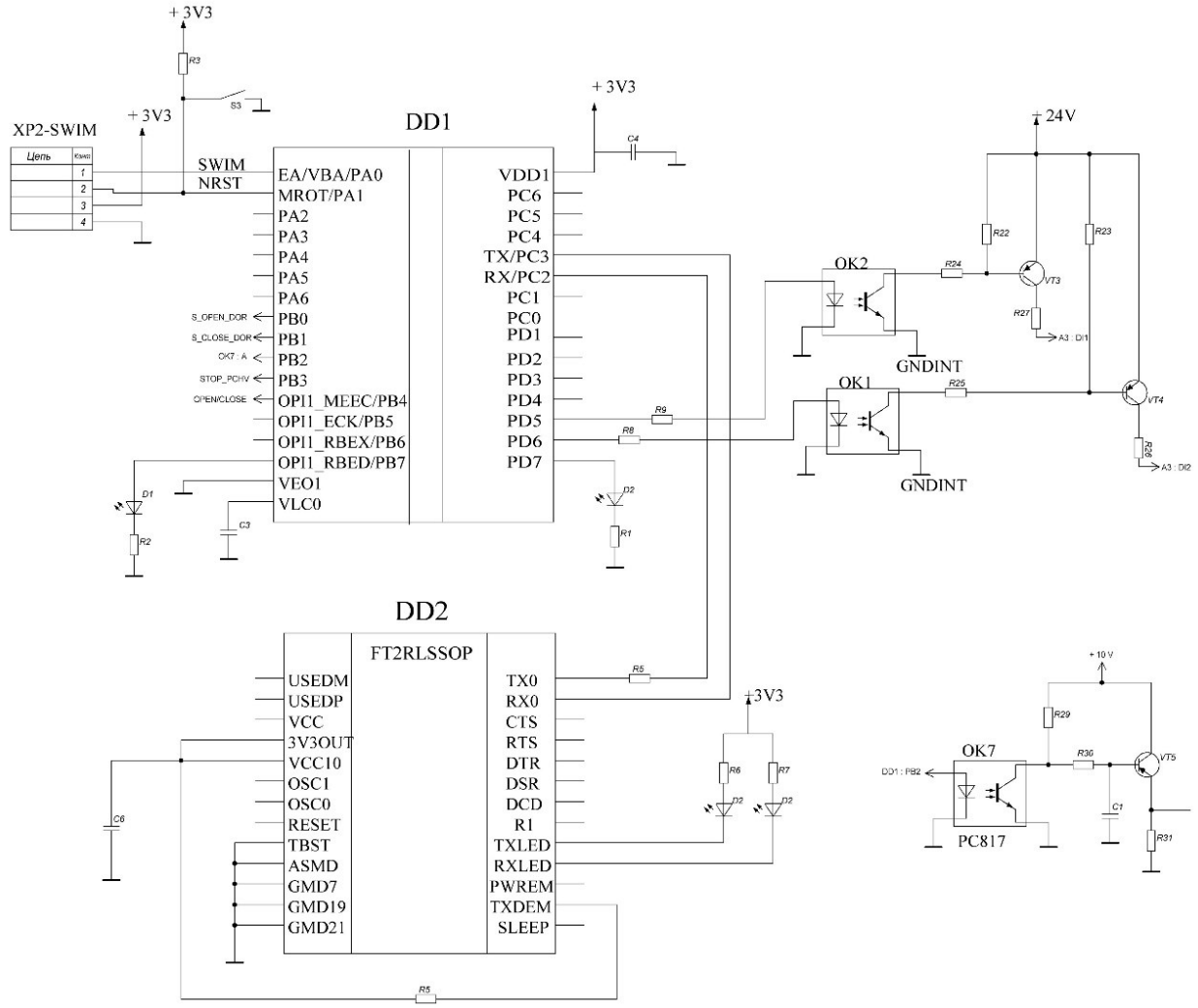

Рис. 3. Принципиальная схема УС .

УС построено на базе МК, имеет дискретные цифровые входы управления от компьютера «Master», а также аналоговый выход 0…+10В и дискретные выходы, коммутирующие напряжение +24В при токе не более 4 мА, для управления ПЧ ACS350.

Преобразователь USB-USART позволяет принимать управляющие сигналы верхнего уровня от компьютера «Master» по интерфейсу USB. В качестве компьютера «Master» может выступать ПК с активизированной терминальной программой.

В качестве МК используется Raspberry Pi 3 B+ со следующими характеристиками: процессор ARM 1,2 ГГц, 2 Гб ОЗУ. Однако в качестве универсального устройства может использоваться встраиваемый одноплатный компьютер NVidia Jetson TX2. К МК подключена USB камера Logitech, разрешением 1920 на 1080 пикселей, видеопоток с которой передается на сервер ГПУ.

В качестве сервера ГПУ используется ПК со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7-7700, видеокарта Gigabyte GeForce GTX 1060 WF, 8 Гб ОЗУ.

На рис. 4 изображена схема подключений к УС.

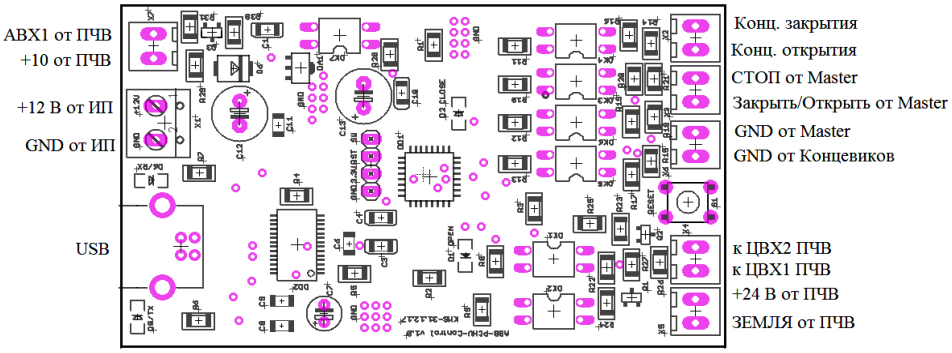

Рис. 4. Схема подключений к УС.

Предложенный оригинальный ЭМП подробно описан в [10 – 11]. В результате объединения вала ЭМП и заградительного элемента пропускной системы (двери) повышается надежность системы (рис. 5). В качестве обратной связи служат два концевых выключателя, которые сигнализируют о полном закрытии или открытии двери.

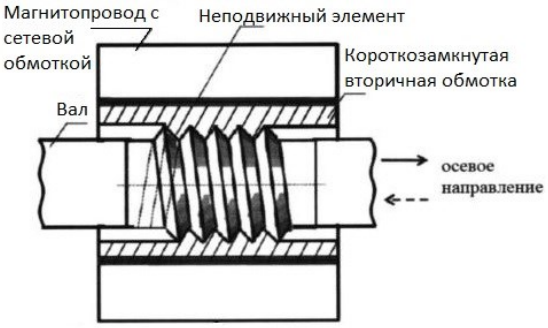

Рис. 5. Вал ЭМП.

Схема блока измерительных устройств показана на рис. 6.

При использовании аналоговых датчиков в схему СКУД необходимо добавить аналого-цифрового преобразователя (АЦП), т.е. специализированную микросхему или микроконтроллер с соответствующими функциями. На рис. 7 приведена схема подключения всех датчиков к микроконтроллеру с АЦП. В таком случае информация о внешней среде кодируется и передается одним пакетом на МК по протоколу UART.

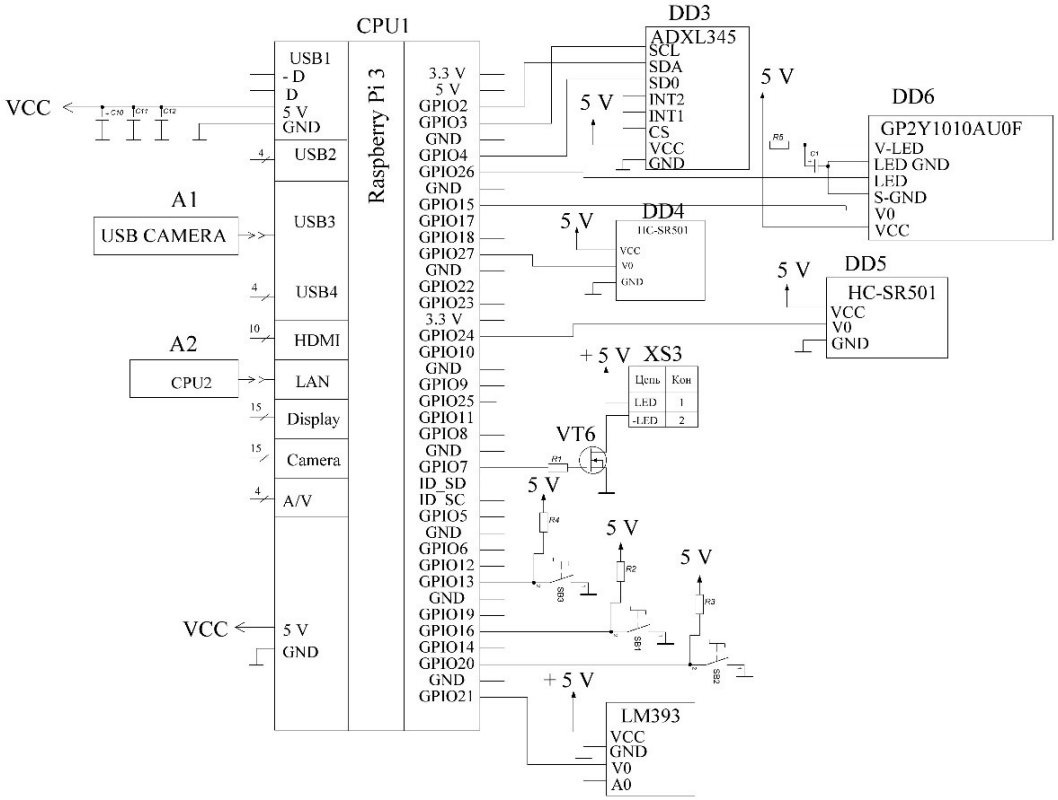

Рис. 6. Принципиальная схема блока измерительных устройств.

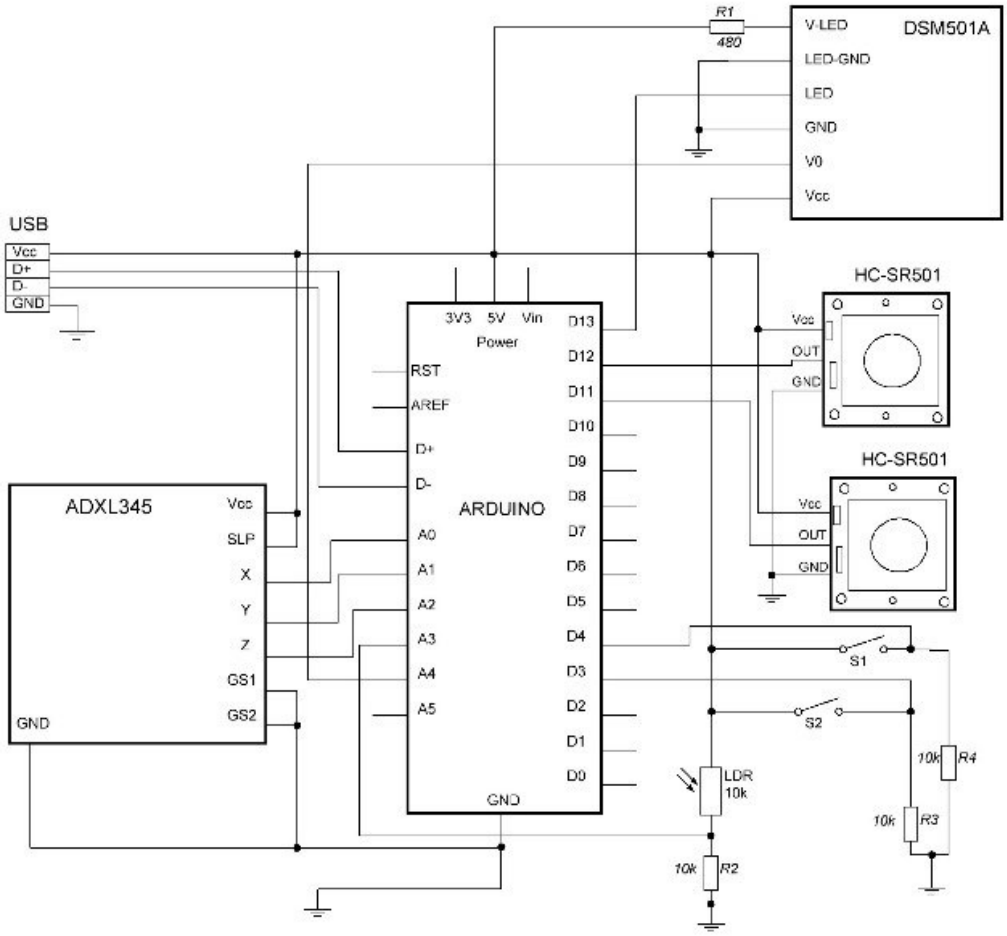

Рис. 7. Модуль обработки информации с датчиков.

2.3. Алгоритм идентификации физических лиц.

Идентификация человека по изображению лица разбивается на решение ряда следующих основных подзадач.

Локализация лица человека в области интереса.

Пусть имеется кадр видеопотока $\mathbf{I}_t$ размером $i \times j$, где t – номер текущего кадра. Под объектом будем понимать лицо человека, найденное на изображении. Областью интереса $\mathbf{R}^{\langle 1 \rangle}$ назовем прямоугольник, описанный вокруг полигона лица человека, найденного на исходном изображении $\mathbf{I}_t$. Тогда $\mathbf{F} = \left\{ \mathbf{R}^{\langle 1 \rangle}, x, y, w, h \right\}$ – множество, содержащее изображение лица человека $\mathbf{R}^{\langle 1 \rangle}$, а также его координаты x, y относительно исходного изображения $\mathbf{I}_t$ и размеры $w \times h$. Задача локализации лица человека сводится к нахождению следующего отображения $f^{DFace} : \mathbf{I}_t \to \mathbf{G}$, причем:

$$x_{\text{НПК}} = \begin{cases} 1, \text{если } \mathbf{R}^{\langle 1 \rangle} \notin \varnothing, \\ 0, \textit{иначе}. \end{cases} \qquad (2)$$

В зависимости от отсутствия или наличия вычислительных ядер ГПУ в качестве алгоритма f^{DFace} может использоваться алгоритм HOG [14].

Идентификация изображения лица глубокой нейронной сетью и их классификация алгоритмом опорных векторов (*SVM*).

Пусть имеется область $\mathbf{R}^{\langle 1 \rangle}$, содержащая объект o – изображение лица человека. Необходимо составить алгоритм перевода в признаковое пространство, при этом вектор признаков $\mathbf{o}$ должен однозначно описывать объект o при различных искажениях (наклоны, повороты, изменение освещения). В [15] предлагается архитектура глубокой сверточной НС FaceNet, позволяющая описать лицо человека 128-байтовым вектором. Данная модель основана на модели GoogLeNet для классификации изображений [16]. На вход НС подается матрица изображения $\mathbf{R}^{\langle 1 \rangle}$, нормализуемая к размеру 224×224 пикселей.

На рис. 8 представлена послойная обработка изображения НС. Результатом работы НС является вектор $\mathbf{o}$ размером 1x128, содержащий признаковое описание объекта. Тогда задача идентификации лица может быть сформулирована как задача многоклассовой классификации. Пусть имеется O – множество объектов, заданных их признаковым описанием. B^{Faces} – множество классов (разрешенных лиц). Дана обучающая выборка D^{Faces}. Решающей функцией является отображение множества O в множество B^{Faces}. В качестве классификатора кодированных изображений лиц предлагается использовать алгоритм опорных векторов (SVM), тогда $f^{SVM} : \mathrm{O} \to \mathrm{B}^{Faces}$.

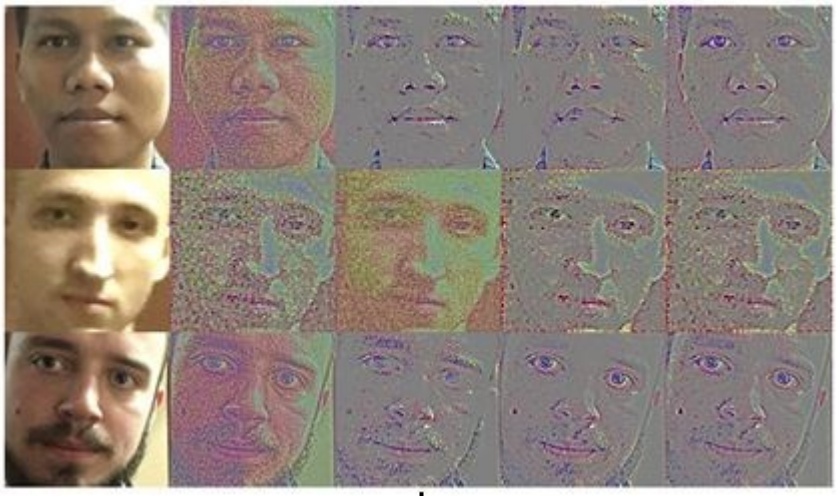

Рис. 8. Послойная обработка изображения НС.

Для предложенного ИР для СКУД разработана программа на языке Python с использованием библиотеки OpenFace. Тестирование показало, что при размере $B^{Faces} < 100$ обеспечивается точность $M^{AC}\left(f^{SVM}\right)$ не менее 96%. Также следует отметить, что допускаются перекрытия лица до 50% без снижения точности распознавания.

2.4.База знаний штатных и нештатных ситуаций.

На основе экспертных мнений разработана БЗ для ИР по определению штатных и нештатных ситуаций. БЗ состоит из 100 правил. Для иллюстрации приведем некоторые из них, без уточнения параметров и функций принадлежности.

Правила штатных ситуаций: 1) если зафиксировано движение пироэлектрическим инфракрасным датчиком, то система проверяет уровень освещения; 2) если сумеречно или темно, то необходимо включить соответствующий уровень подсветки; 3) если освещение светлое, то выполняется локализация людей; 4) если в кадре видеопотока обнаружен человек, то изображение передается на модуль распознавания лиц; 5) если человек известен системе и имеет допуск, то срабатывает режим «разрешения»: открыть закрытую дверь со средней скоростью или не изменять состояние открытой двери до выполнения следующей проверки; 6) если человек неизвестен системе, то срабатывает режим «запрещения»: при закрытой двери отправляется сигнал оператору, а при открытой отправляется команда на закрытие со средней скоростью; 7) если человек известен системе и не имеет допуска, то срабатывает режим «запрещения»: закрыть открытую дверь со средней скоростью и отправить сигнал оператору.

Правила нештатных ситуации: 1) если в кадре обнаружены несколько человек, то система определяет их уровень доступа; 2) если люди в кадре из списка имеющих допуск, то система выполняет режим «разрешения»; 3) если

в кадре несколько человек и хотя бы один запрещенный человек, то выполняется режим «запрещения» даже при наличии разрешенных; 4) если обрыв связи с сервером, то выполняется режим «запрещения»: передается сигнал тревоги оператору и дверь закрывается со средней скоростью до восстановления связи с сервером; 5) если сработал датчик дыма внутри помещения и по показанию датчика присутствия в помещении находятся люди, то оператору отправляется сигнал тревоги, запускается пожарная система оповещения, система открывает двери с максимальной скоростью; 6) если сработал датчик дыма внутри помещения, а людей внутри помещения нет, то запускается пожарная система оповещения, но дверь откроется только по сигналу с пульта оператора, так как это может быть имитация поджога.

Также в системе предусмотрены возможные нештатные ситуации при работе механических частей: 1) если изменились показания датчиков давления, то передается сигнал тревоги «о взломе» оператору и запускаются начальные правила проверки; 2) если во время открытия возникла небольшая помеха, то система продолжает открытие, изменяя частоту и напряжение, т.е. прилагая большее усилие. Однако если при увеличении частоты/усилия помеха не исчезла, то необходимо выполнить аварийную остановку и подать сигнал оператору; 3) если же помеха такого рода (незначительная) возникла при закрытии двери, то дверь останавливается, меняет направление и выполняет открытие в 1 секунду, после чего возвращается в предыдущий режим и извещается оператор; 4) если обнаружен дым внутри помещения и при этом в помещении находятся люди, то оператору отправляется сигнал тревоги и система открывает двери с максимальной скоростью.

База правил представлена в виде нечетких «*If-then*»:

$$R_k : If\ \mathbf{y}\ is\ \mathbf{y}_k\ then\ \mathbf{u}\ is\ \mathbf{u}_k, \qquad (3)$$

где $\mathbf{y}$ – входной вектор для нечеткой системы, $\mathbf{y}_k = (y_{k1},\ldots,y_{kn})^T$ – нечеткие множества с функциями принадлежности $\mu_{y_{ki}}(y_i)$, $k=\overline{1.\lambda}$, $i=\overline{1.n}$; $\mathbf{u}_k = (u_{k1},\ldots,u_{kr})^T$ – нечеткие множества с $\mu_{u_{ki}}(u_i)$, $k=\overline{1.\lambda}$, $i=\overline{1.n}$; λ – общее число нечетких «*If-then*» правил в базе правил.

Нечеткой системой реализуется отображение: $\mathbf{u}^{(j)} = f\left(\mathbf{y}^{(j)}\right) = f\left(y_0^{(j)}, y_1^{(j)},\ldots,y_n^{(j)}\right)$, $j=0,\ldots,J$, при наличии обучающего множества $\left\{\left(\mathbf{y}^1,\mathbf{u}^1\right),\ldots,\left(\mathbf{y}^J,\mathbf{u}^J\right)\right\}$.

Во избежание аварийных ситуаций система функционирует в рабочем цикле с предустановленным шагом в 5 секунд. Так как модуль распознавания может находиться на удаленном сервере ГПУ, то система раз в цикл обменивается с ним эхо-запросами. В случае прерывания связи модуль УПУ закрывает

дверь со средней скоростью и не реагирует на команды до восстановления связи с сервером.

3. Иллюстрирующий пример

Разработанный ИР для СКУД применялся для ограничения доступа в аудиторию с повышенным уровнем опасности. Реализация аппаратно-программного обеспечения интеллектуального регулятора осуществлена при управлении дверным полотном (рис. 9).

Испытания проводились как при наличии искусственного освещения, так и в полной темноте. Система распознавания лиц определяет лицо человека в кадре, ведет счет количества локализованных людей, делает фото лиц, попавших в поле зрения видеокамеры. Система показала способность детектировать до трех человек в кадре, с точностью распознавания 96%. При биометрической идентификации система отображает сетку пользователя над изображением его лица, а также выделяет цветовым маркером права доступа: красный – запрещен; синий – неизвестен; зеленый – разрешен.

Рис. 9. Макет тестируемой СКУД.

Характеристики ИР для СКУД следующие: отклонение положения объекта от плоскости изображения не более 30°; потребляемая мощность в режиме ожидания не более 1 Вт; скорость перемещения преграждающего устройства 0,1 м/с. Скоростные характеристики регулятора приведены в таблице.

Для отладки и тестирования ИР для СКУД разработан стенд (рис. 10). В качестве исполнительных элементов использовался шаговый двигатель NEMA17 с драйвером A4988, винтовая шпилька и 3D печатные части. Данные считываются соответствующими элементами давления и ударов по двери – акселерометр ADXL345; присутствие человека – пироэлектрический датчик HC-SR501; наличие задымленности – датчик дыма и пыли GP2Y1010AU0F, уровень освещенности – модуль фоторезистора KY-018.

Имитация работы УПЧ и АЦП выполняется микроконтроллерами Atmega328 на отладочной плате. В качестве ГПУ использовался модуль Jetson TX2.

Параметр	**Формат кадра, пиксель**			
	240	***480***	***720***	***1080***
Время инициализации СКУД	Значение, с			
Время выполнения операций анализа кадра:	0.0813	0.3050	0.6792	1.5114
детекция лица,	0.0180	0.0681	0.1490	0.3382
выделение биометрических признаков	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051
Время инициализации электропривода	1	1	1	1
Время полного открытия двери	5	5	5	5

Рис. 10. Стенд интеллектуального регулятора для СКУД.

Следует отметить, что в стенде и полномасштабной СКУД применяется идентичное программное обеспечение и одинаковые команды управления, что позволяет подключить к стенду разработанное УС с оригинальным ЭМП без необходимости изменять прошивки. В целях отладки в компоненты стенда был добавлен жидкокристаллический дисплей LCD1602, подключенный по шине i2c.

Заключение

Разработан интеллектуальный регулятор для СКУД физических лиц, транспортных средств, штатных и нештатных ситуаций. Интеллектуальный регулятор для СКУД предлагается строить из двух частей в соответствии с принципом разделения. С помощью первой части решается задача оценки состояния объекта наблюдения глубокой НС. Второй блок – это детерминированный субоптимальный регулятор, который предлагается реализовать с помощью системы нечеткой логики.

Предложена математическая модель СКУД с использованием интеллектуального регулятора, учитывающая нештатные ситуации с использованием компьютерного зрения и датчиков.

Создана оригинальная аппаратная платформа, состоящая из универсального набора компонент, достаточных для работы СКУД при минимальном количестве вносимых изменений. Аппаратная платформа реализована в виде стенда. Показано применение глубоких НС на современных ГПУ и нечеткой логики для обнаружения и распознавания объектов, определения штатных и нештатных ситуаций, принятия решений, что позволило достигнуть хороших результатов в режиме РВ при решении задач контроля и управления доступом. Разработано программное обеспечение в среде Python.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Li X., Zhang Y., Marsic I., Burd R. S.* Online People Tracking and Identification with RFID and Kinect, 2017. arXiv. https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf
2. *Mohandes M., Deriche M., Ahmadi H., Kousa M., Balghonaim A*. An Intelligent System for Vehicle Access Control using RFID and ALPR Technologies, Arab J Sci Eng. – 2016. – № 41. – P. 3521-3530. DOI: 10.1007/s13369-016-2136-0.
3. *Chung Y.N., Lu T.C., Huang Y.X., Lin C.T., Yu C.C., Li C.K.* Applying Image Recognition Technology to Intelligent Security Management Systems // Part of series: AISR. – 2015. – № 123. – P. 117-120. DOI: 10.2991/aiie-15.2015.33.
4. *Nardo D. E., Maddalena L., Petrosino A*. Video-Based Access Control by Automatic License Plate Recognition // Advances in Neural Networks: Computational and Theoretical Issues. Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Cham. – 2015. – № 37. – P. 103-115.
5. *Амосов О.С., Баена С.Г., Иванов Ю.С., Хтайк Со.* Система автоматического управления шлагбаумом с использованием технологий нечеткого вывода и компьютерного зрения // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 42.
6. *Амосов О.С.* Нейросетевые и нечеткие методы оценивания стохастических систем: Дис… д-ра техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2004.
7. *Амосов О.С., Иванов Ю.С., Жиганов С.В.* Локализация человека в кадре видеопотока с использованием алгоритма на основе растущего нейронного газа и нечеткого вывода // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 1. – С. 46-58.
8. *Амосов О.С., Амосова Л.Н., Иванов С.Н.* Синтез оптимальных систем управления электромеханическим теплогенерирующим комплексом с использованием нечетких систем // Информатика и системы управления. – 2009. – № 1(19). – С. 73-83.

9. *Амосов О.С., Малашевская Е.А., Баена С.Г.* Субоптимальное оценивание случайных последовательностей с использованием иерархических нечетких систем // Информатика и системы управления. – 2013. – № 3(37). – С. 123-133.
10. *Amosov O.S., Amosova S.G., Ivanov S.N.*. Automatic access to the premises of increased danger using intelligent electric drive // IEEE International Conference on Applied System Innovation. – 2018. – P. 532-535.
11. Пат. 2651531 C1 РФ. Автоматизированная пропускная система / О.С. Амосов, С.Г. Баена, Ю.С. Иванов, С.Н. Иванов // Официальный бюл. «Изобретения». – 2017. – №11. – С. 19.
12. *Амосов О.С., Иванов Ю.С.* Модель, алгоритмы и аппаратно-программный комплекс для управления освещением на основе системы охранного телевидения // Информатика и системы управления. – 2013. – № 1(35). – С. 156-166.
13. *Ivanov S.N., Ulyanov A.V., and Htike S.* Gearless electromechanical drive for complex security system of an organization // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Far East Con-2018, 2018.
14. *Dalal N*. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, B. Triggs // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – P. 886-893. DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
15. *Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. Facenet*. A unified embedding for face recognition and clustering // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2015. – P. 815-823.
16. *Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A*. Going deeper with convolutions. Technical Report // arXiv. 2014. https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf.

E-mail:
Амосов Олег Семенович – osa18@yandex.ru;
Амосова Светлана Геннадьевна – amosovasg@yandex.ru;
Иванов Юрий Сергеевич – ivanov_ys@icloud.com;
Со Хтайк – soehtike53.sh@gmail.com.