

УДК 614.84/ 656.6/ 621.3

DOI: 10.15593/2224-9397/2021.3.07

Е.А. Чабанов¹, Е.В. Чабанова²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

²Пермский государственный аграрно-технологический университет
им. акад. Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНОГО ЗЕМСНАРЯДА ПРОЕКТА 1519

В связи с высоким уровнем развития технических устройств и технологий в настоящее время появляется всё большее количество разнообразного оборудования. Использование этого оборудования при высоких нагрузках и несоблюдении правил эксплуатации может привести к возгоранию. Пожар, который не удастся устранить в короткий период времени, может вызвать выделение большого количества тепла и вредного для жизни людей газа. Следовательно, могут возникнуть огромный материальный ущерб и человеческие жертвы. В замкнутых помещениях судов пожары характеризуются еще высокой динамикой развития. Для локализации и тушения пожара на начальной стадии используются системы пожаротушения с различным составом оборудования. Наиболее оптимальным способом минимизации возможных материальных и человеческих потерь при пожаре является создание автоматической противопожарной системы, которая для эффективной защиты объекта должна состоять из систем пожарной сигнализации и пожаротушения. **Цель исследования:** исследовать возможность разработки и применения новых методов конструктивных решений автоматического пожаротушения в замкнутых пространствах. **Методы:** произвести анализ возможных альтернативных подходов к решению поставленной проблемы с применением теории электрических цепей и методов расчета систем пожаротушения. **Результаты:** анализ и систематизация информации о существующих противопожарных системах подтвердили, что судовая система аэрозольной противопожарной защиты представляет собой наиболее эффективный, экономичный и технически обоснованный метод предотвращения пожара с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании технических средств. Предложенная модернизация подтверждена оценкой экономической эффективности. **Практическая значимость:** мероприятия, разработанные в результате исследований земснаряда «Камский–407» и связанные с модернизацией автоматизированной системы пожарной сигнализации и пожаротушения, могут быть практически реализованы на всех теплоходах проекта 1519 с незначительной корректировкой, обусловленной особенностями конструкций отдельных судов.

Ключевые слова: генераторы аэрозоля, датчики сигнализации, земснаряд, система аэрозольного пожаротушения.

E.A. Chabanov¹, E.V. Chabanova²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²State Agro-Technological University named after D.N. Pryanishnikov,
Perm, Russian Federation

MODERNIZATION OF THE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM OF THE PROJECT 1519 DREDGING DREDGER

Due to the high level of development of technical devices and technologies, an increasing number of various equipment is currently appearing. Using this equipment under heavy loads and improper operation may result in a fire. A fire that cannot be eliminated in a short period of time can generate a lot of heat and gas that is harmful to human life. Consequently, huge material damage and loss of life can occur. In confined spaces of ships, fires are still characterized by high dynamics of development. To localize and extinguish a fire at the initial stage, fire extinguishing systems with a different composition of equipment are used. The most optimal way to minimize possible material and human losses in a fire is to create an automatic fire-prevention system, which for effective protection of the facility should consist of fire alarm and fire extinguishing systems. **Purpose of the research:** to investigate the possibility of developing and applying new methods of constructive solutions for automatic fire extinguishing in confined spaces. **Methods:** analyze possible alternative approaches to solving the problem posed using the theory of electrical circuits and methods for calculating fire extinguishing systems. **Results:** analysis and systematization of information on existing fire-prevention systems confirmed that the ship's aerosol fire protection system is the most effective, economical and technically sound method of preventing a fire with minimal damage with the most rational use of technical means. The proposed modernization is confirmed by an assessment of economic efficiency. **Practical significance:** the measures developed as a result of studies of the Kamsky-407 dredger and related to the modernization of the automated fire alarm and fire extinguishing system can be practically implemented on all motor ships of the 1519 project with minor adjustments due to the structural features of individual ships.

Keywords: aerosol generators, alarm sensors, dredger, aerosol fire extinguishing system.

Введение

На водном транспорте независимо от области его применения (внутренние водные или морские пути), как и на любом другом виде транспорта (автомобильном, железнодорожном, авиационном), на первом месте всегда стоит безопасность. Самым важным при этом является обеспечение безопасности, прежде всего пассажиров и рабочего персонала, а затем транспортной единицы (судно, поезд, автомобиль, самолет) и перевозимого груза. На каждом виде транспорта для обеспечения безопасности жизнедеятельности людей существует большое количество нормативных документов, регламентирующих каждое действие пассажиров и экипажа как в ежедневной рутинной обстановке, так и в форс-мажорных обстоятельствах (при аварии, затоплении, пожаре и т.п.) [1, 2]. Так, на водном транспорте в зависимости от области его применения деятельность членов экипажа основана на требованиях

Российского речного регистра (РРР) или Международной морской организации (ИМО) [3]. РРР представляет собой государственный орган, в обязанности которого входит, кроме прочих, разрешение либо отказ в установке и использовании определенного оборудования или системы на водном транспорте.

Сертификацией РРР подвергаются, кроме прочих, системы пожарной сигнализации и пожаротушения. На данный момент самой перспективной является система аэрозольного пожаротушения (АОТ), которая оптимальна для применения во всех помещениях судна: машинно-котельное отделение, кладовые, грузовые и насосные отсеки, помещение главного распределительного щита, каюты пассажиров и экипажа и др. Эта система является современной заменой углекислотному пожаротушению. Требования, предъявляемые к системам пожаротушения, зависят от класса судна, количества экипажа, видов помещений, а также перевозимого груза и количества пассажиров. Рассмотрим возможность установки системы аэрозольного пожаротушения на земснаряде проекта 1519.

Самоходный дизель-электрический шаландовый многочерпаковый земснаряд, проекта 1519 предназначен для проведения дноуглубительных работ производительностью 600 м³/ч. Суда данного проекта эффективно используются для углубления судового хода [4].

Земснаряд проекта 1519 является снарядом с механическим способом отделения и подъема грунта, которые у данного земснаряда осуществляются кольцевой черпаковой цепью, состоящей из соединенных между собой черпаков. Извлеченный грунт транспортируется к месту отвала в грунтоотвозных шаландах.

На земснаряде имеются средства дистанционного управления, автоматизации и контроля оборудования практически всех систем судна. Работа черпакового привода автоматизирована так, что главный двигатель работает с постоянной мощностью. С центрального поста осуществляется дистанционное управление черпаковым приводом, становой и папильонажными лебедками, лебедкой для перекидки грунтового клапана, лебедками для подъема грунтовых лотков, швартовой лебедкой и пожарно-промывочным насосом.

Силовая установка судна состоит из одного двигателя внутреннего сгорания мощностью 450 л.с., которая приводит в действие генератор постоянного тока мощностью 270 кВт. Генератор обеспечивает ра-

боту на стоянке электромотора черпаковой цепи мощностью 197 кВт или в движении двух гребных электродвигателей мощностью по 100 кВт каждый. Палубные механизмы получают электроэнергию от генератора мощностью 150 кВт, который входит в состав дизель-генераторного агрегата мощностью 225 л.с. [4].

В настоящий момент на судне применяется система углекислотного пожаротушения, для которой на рис. 1 показана электрическая принципиальная схема работы. Состав системы углекислотного пожаротушения: Н1 – светильник подпалубный с бесцветным колпаком; Н2, Н3, Н4 – табло сигнальное «Газ! Уходи!» водозащищенного исполнения; Н9 – светильник подпалубный с красным колпаком; Н5 – сирена; Н6, Н7, Н8 – ревун; S1, S2, S3, S4 – выключатель конечный; Y – манипулятор трехходовой; К – контактор.

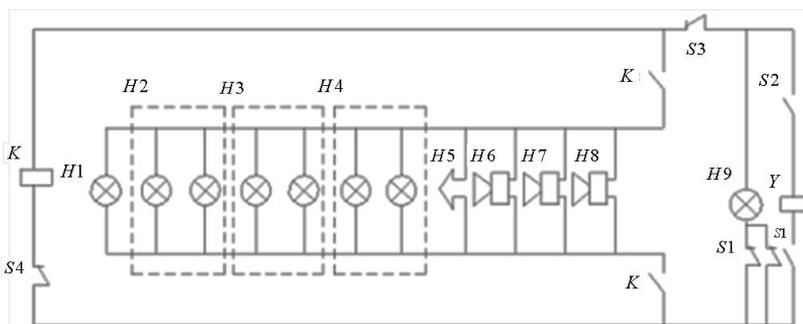


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная системы углекислотного пожаротушения

Системы углекислотного пожаротушения хорошо зарекомендовали себя на объектах различного характера, в том числе на судах. Однако по причине морального и особенно физического устаревания подобные системы изжили себя. Слабыми местами в таких системах являются система трубопроводов и баллоны со сжатым углекислым газом, а также под ее оборудование необходимо выделять отдельное помещение, что является крайне нерентабельным на судах. Требуется их повсеместная замена на более современные и надежные [5–8].

Для обеспечения безопасности судов в настоящее время чаще применяются установки аэрозольного пожаротушения, что обусловлено их преимуществами перед другими видами огнетушащего оборудования (табл. 1) [9–13]: низкой стоимостью, быстротой установки, отсутствием потребности в дополнительном помещении для оборудования.

Таблица 1

Анализ судовых систем пожаротушения

№ п/п	Газовое пожаротушение	Порошковое пожаротушение	Аэрозольное пожаротушение
1	Высокая стоимость	Низкая стоимость	Низкая стоимость
2	Необходимость периодической замены огнетушащего вещества.	Необходимость периодической замены порошка по причине слеживания	Замена необходима только после использования
3	Удаляется из помещения простым проветриванием	Трудоёмкость уборки помещения после срабатывания системы	Удаляется из помещения простым проветриванием
4	Высокая скорость погашения пламени	Отсутствие гарантий полной ликвидации возгорания	Высокая эффективность
5	Сложная установка в связи с прокладкой трубопровода	Несложная установка	Простота установки
6	Вредное воздействие на организм человека	Вредное воздействие порошка на организм человека	Безопасность для людей
7	Большие габариты	Большие габариты	Малые габариты

Выявленные достоинства при анализе систем пожаротушения позволили сформулировать необходимость внедрения системы объемного аэрозольного пожаротушения на судна 1519 земснаряд «Камский–407».

Модернизация системы пожаротушения земснаряда

С целью модернизации системы пожаротушения необходимо рассчитать: количество генераторов объемного аэрозольного тушения, сечение кабеля для системы пожаротушения, мощность кабельной силовой и аварийной систем [14, 15].

Для расчета количества генераторов объемного тушения необходимо определиться с перечнем защищаемых помещений (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики защищаемых помещений

Машинное отделение	
Валовый объем, м ³	245
Объем шахты газовыхлопа, м ³	47
Воздухохранители (2 шт), м ³	0,08
Давление, МПа	6
Валовый объем (V1), м ³	292
Помещение главного распределительного щита (ГРЩ)	
Валовый объем, м ³	85,8
Объем тамбура выхода, м ³	3,9
Валовый объем (V2), м ³	89,7
Помещение мастерской и озонаторной станции	
Валовый объем (V3), м ³	84,2

Машинное отделение, помещения ГРЩ, мастерской и озонаторной являются смежными и отделены друг от друга тамбуром, переборками и дверями [16, 17]. Для тушения пожара в защищаемых помещениях применяются генераторы «ТОР-3000», в которых суммарная масса аэрозолеобразующего состава (кг) и их количество (шт.) определяются по формулам [18–20]:

$$G = \left(V_p + \frac{\sum_{j=1}^n V_{\text{вх.}j} \cdot P_{\text{вх.}j}}{P_a} \right) \cdot k \cdot q_{\text{н1}}, \quad (1)$$

$$m = \frac{G}{G_{01}}, \quad (2)$$

где v_p – расчетный свободный объем защищаемого помещения; k – коэффициент запаса, $k = 1,5$; m – число генераторов аэрозоля; G_{01} – масса заряда огнетушащего состава генератора «ТОР 3000», $G_{01} = 3,0 \pm 0,3$ кг; $q_{\text{н1}}$ – нормативная концентрация огнетушащего состава генератора «ТОР 3000», $q_{\text{н1}} = 0,06$ кг/м³; $V_{\text{вх.}j}$ – объем j -го воздухохранителя; P_a – атмосферное давление воздуха, $P_a = 0,1$ МПа; $P_{\text{вх.}j}$ – рабочее давление воздуха в j -м воздухохранителе, МПа; j – порядковый номер воздухохранителя; n – число воздухохранителей.

Запас воздуха в воздухохранителях:

$$V_{\text{запас}} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{\text{вх.}j} \cdot P_{\text{вх.}j}}{P_a} = 9,6 \text{ м}^3. \quad (3)$$

Расчетный свободный объем машинного отделения определяется как

$$V_p = V_1 = 292 \text{ м}^3.$$

Поскольку запас воздуха в воздухохранителях составляет менее 30 % расчетного объема машинного отделения в расчете суммарной массы АОС, запас воздуха не учитывается [19]. Аналогичная ситуация складывается с остальными защищаемыми помещениями.

Количество огнетушащего вещества в машинном отделении по (1) составит:

$$G = \left(292 + \frac{0}{0,1} \right) 1,5 \cdot 0,06 = 26,28 \text{ кг.}$$

Количество генераторов «ТОР 3000» в машинном отделении по (2) составит:

$$m = \frac{26,28}{3,0} = 8,76 \text{ шт.}$$

Принимаем количество генераторов «ТОР 3000» в машинном отделении равным 9 шт. Расчетный свободный объем помещения ГРЦ составляет: $V_p = V_2 = 89,7 \text{ м}^3$.

Количество огнетушащего вещества в помещении ГРЦ по (1) составит:

$$G = \left(89,7 + \frac{0}{0,1} \right) 1,5 \cdot 0,06 = 8,073 \text{ кг.}$$

Количество генераторов «ТОР 3000» в помещении ГРЦ по (2) составит:

$$m = \frac{8,073}{3,0} = 2,691 \text{ шт.}$$

Принимаем количество генераторов «ТОР 3000» в помещении ГРЦ равным 3 шт. Расчетный свободный объем помещения мастерской и озонаторной станции составляет:

$$V_p = V_2 = 84,2 \text{ м}^3.$$

Количество огнетушащего вещества в помещении мастерской и озонаторной станции по (1) составит:

$$G = \left(84,2 + \frac{0}{0,1} \right) \cdot 1,5 \cdot 0,06 = 7,58 \text{ кг.}$$

Количество генераторов «ТОР 3000» в помещении мастерской и озонаторной станции по (2) составит:

$$m = \frac{7,58}{3,0} = 2,53 \text{ шт.}$$

Принимаем количество генераторов «ТОР 3000» в помещении мастерской и озонаторной станции – 3 шт. Таким образом, в соответст-

вии с расчетом в защищаемых помещениях будут установлены генераторы «ТОР 3000» огнетушащего аэрозоля в общем количестве 15 шт.

Генераторы огнетушащего аэрозоля устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить наиболее равномерное и быстрое заполнение защищаемых помещений огнетушащим аэрозолем с целью эффективного тушения пожара [15].

При рассмотрении помещений камбуза и кают-компания было принято решение не разрабатывать систему аэрозольного пожаротушения в связи с тем, что в этих помещениях отсутствует система кондиционирования, вследствие этого для проветривания помещения часто открыты окна, а для эффективности работы системы необходима герметичность помещения. Схема новой системы пожаротушения представлена на рис. 2 [21].

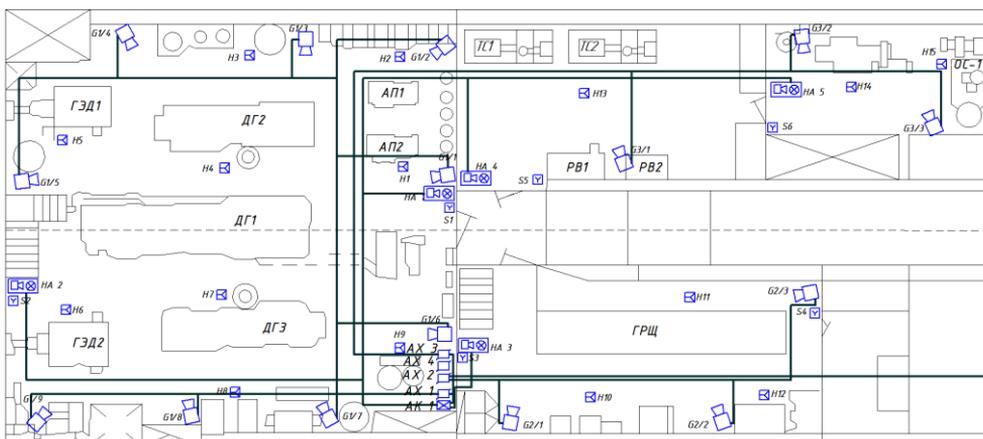


Рис. 2. Схема расположения оборудования пожаротушения: ДГ1 – главный дизель-генератор; ДГ2 – дизель-генератор основной; ДГ3 – дизель-генератор аварийный; ГЭД1-ГЭД2 – гребные электродвигатели; АП1- АП2 – электрические двухмашинные агрегаты; ГРЩ – главный распределительный щит; ТС1-ТС2 – токарные станки; РВ1-РВ2 – рабочие верстаки; ОС-1 – озонаторная станция

При проектировании автоматизированной системы пожаротушения целесообразно выбрать комбинированные датчики пожарной сигнализации, так как они одновременно включают в себя элементы, чувствительные к теплу и дыму, что значительно повышает надежность системы в целом. При высоте помещения до 3,5 м контролируемая площадь одним извещателем составляет 18 м². Для расчёта сечения кабеля необходимого для подключения всего оборудования рассчитывается общая нагрузка отдельных элементов [15].

При расчёте количества генераторов пожаротушения в зависимости от объема защищаемых помещений получаем их общее количество, равное 15 шт. В табл. 3 представлена спецификация оборудования, которое необходимо для организации автоматизированной системы пожаротушения [20].

Таблица 3

Спецификация оборудования новой системы пожаротушения

Название	Количество, шт.
Блок управления системой аэрозольного объемного тушения (БУС АОТ)	1
Блок промежуточных реле (БПР)	1
Клеммная коробка	5
Генератор огнетушащего аэрозоля	15
Извещатель пожарный ручной	5
Датчик сигнала комбинированный	14
Светозвуковой оповещатель	5

Для монтажа оборудования новой системы пожаротушения необходимо произвести расчет его основных характеристик.

Генератор огнетушащего аэрозоля имеет следующие основные характеристики: номинальная мощность генератора 16,8 Вт; напряжение 24 В; ток генератора 0,7 А. Согласно представленному выше расчету в защищаемые помещения необходимо установить 15 генераторов аэрозоля, следовательно, суммарная потребляемая мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{сум}} = P \cdot n, \quad (4)$$

где n – количество генераторов аэрозоля:

$$P_{\text{сум}} = 16,8 \cdot 15 = 252 \text{ Вт.}$$

В качестве комбинированных датчиков пожарной сигнализации целесообразно выбрать датчики отечественного производства ИП 212/101-4-А1R «Профи-ОТ» со следующими параметрами: номинальная мощность – 0,0016 Вт; напряжение питания – 24 В.

Суммарная потребляемая мощность всех датчиков находится по формуле, аналогичной (4):

$$P = P \cdot n = 0,0016 \cdot 14 = 0,023 \text{ Вт,}$$

где n – количество датчиков.

Извещатель пожарный ручной ИПР 513-10 (с кнопкой, с крышкой): номинальная мощность кнопки – 0,0012 Вт, напряжение питания – 24 В. Находим суммарную потребляемую мощность всех извещателей по формуле, аналогичной (4):

$$P_{\text{сум}} = P \cdot n = 0,0012 \cdot 5 = 0,006 \text{ Вт},$$

где n – количество извещателей

Светозвуковой оповещатель ЭКРАН-М-СЗ-К1 «Аэрозоль, Уходи!»: номинальная мощность светозвукового оповещателя – 5,64 Вт; напряжение питания – 24 В. Находим суммарную потребляемую мощность всех оповещателей по формуле, аналогичной (4):

$$P_{\text{сум}} = P \cdot n = 5,64 \cdot 5 = 28,2 \text{ Вт},$$

где n – количество светозвуковых оповещателей

БУС АОТ 1 может иметь в своем составе до 6 пусковых направлений, что позволяет построить систему АОТ, содержащую до 16 генераторов. Характеристики БУС АОТ: напряжение питания – 24 В; ток в дежурном режиме – 1 А; ток в режиме тушения – 3 А; на каждое пусковое направление номинальная мощность – 24 Вт. Характеристики блока промежуточных реле БПР 5,0: номинальная мощность – 72 Вт; напряжение питания 24 В; ток – 3 А. Для подключения перечисленного оборудования требуется рассчитать и подобрать кабель системы сигнализации. Следует выбрать кабель марки КНРЭК, который способен в процессе эксплуатации выдерживать радиальное гидростатическое давление до 1,96 атм.

Расчёт сечения кабеля от основного (резервного) питания БУС АОТ 1. Определяем номинальную силу тока в цепи:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}, \quad (5)$$

где P – мощность электроприбора; U – напряжение питания; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности (характеризует потери мощности), по умолчанию равен 0,92,

$$I = \frac{24}{24 \cdot 0,92} = 1,08 \text{ А}.$$

Производится расчет сопротивления проводника:

$$R = \frac{dU}{I}, \quad (6)$$

где dU – потери напряжения, не более 5 % (0,05); I – сила тока.

$$R = \frac{1,2}{1,08} = 1,11 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сечения токопроводящей жилы по формуле:

$$S = \frac{\rho \cdot l}{R}, \quad (7)$$

где ρ – удельное сопротивление металла, (Ом·мм²/м): медь – 0,0175), алюминий – 0,028); l – длина проводника; R – сопротивление проводника.

$$S = \frac{0,0175 \cdot 62}{1,11} = 0,86 \text{ мм}^2.$$

С учётом рассчитанного сечения выбирается кабель марки КНРЭК 2×1.

Расчёт сечения кабеля от БУС АОТ к клеммникам АХ1, АХ2 и АХ3. Расчёт сечения кабеля от БУС АОТ к клеммной коробке АХ1: Определяются сила тока в цепи по (5), сопротивление проводника по (6) и сечение токопроводящей жилы по (7):

$$I = \frac{16,8 \cdot 9}{24 \cdot 0,92} = 6,85 \text{ А}; R = \frac{1,2}{6,85} = 0,175 \text{ Ом}; S = \frac{0,0175 \cdot 62}{0,175} = 6,2 \text{ мм}^2.$$

С учётом рассчитанного сечения кабеля выбирается кабель марки КНРЭК 10×1,0. Расчёт сечения кабеля от БУС АОТ к клеммной коробке АХ2 и АХ3. Сначала определяется номинальная сила тока в цепи:

$$I = \frac{P \cdot n}{U \cdot \cos \varphi}, \quad (8)$$

где P – мощность электроприбора; U – напряжение в сети; n – количество оборудования; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности (характеризует потери мощности), по умолчанию равен 0,92.

$$I = \frac{16,8 \cdot 3}{24 \cdot 0,92} = 2,28 \text{ А.}$$

Затем рассчитывается сопротивление проводника по (6) и сечения токопроводящей жилы по (7):

$$R = \frac{1,2}{2,28} = 0,52 \text{ Ом}; S = \frac{0,0175 \cdot 62}{0,52} = 5,2 \text{ мм}^2.$$

С учётом рассчитанного сечения кабеля производится выбор кабеля марки КНРЭК 7×1,0. Данный кабель подключается от блока управления системы к клеммной коробке на запуск генераторов пожаротушения в ГРЩ. Этот же кабель подходит для подключения от блока управления системы к клеммной коробке на запуск генераторов пожаротушения в отделении мастерской и озонаторной.

Расчёт сечения кабеля от клеммной коробки АХ1, АХ2, АХ3 к генератору огнетушащего аэрозоля. При подборе необходимого сечения кабеля возьмем максимальную длину проводника от клеммной коробки до генератора огнетушащего аэрозоля, равной 19,1 м.

Определяются сила тока в цепи по (5), сопротивление проводника по (6) и сечение токопроводящей жилы по (7):

$$I = \frac{16,8}{24 \cdot 0,92} = 0,76 \text{ А}; R = \frac{1,2}{0,76} = 1,57 \text{ Ом}; S = \frac{0,0175 \cdot 19,1}{1,57} = 0,58 \text{ мм}^2.$$

Выбираем двухжильный кабель с экраном КНРЭК 2×1.

Для подключения всех генераторов от клеммных коробок выбираем двухжильный кабель с экраном КНРЭК 2×1.

Расчёт сечения кабеля от БУС АОТ к блоку промежуточного реле (БПР). Определяются сила тока в цепи по (5), сопротивление проводника по (6) и сечение токопроводящей жилы по (7):

$$I = \frac{28,2}{24 \cdot 0,92} = 1,28 \text{ А}; R = \frac{1,2}{1,28} = 0,93 \text{ Ом}; S = \frac{0,0175 \cdot 62}{0,93} = 4,43 \text{ мм}^2.$$

Выбираем двухжильный кабель с экраном КНРЭК 7×1.

Расчет сечения кабеля от основного питания к БПР. Определяются сила тока в цепи по (5), сопротивление проводника по (6) и сечение токопроводящей жилы по (7):

$$I = \frac{72}{24 \cdot 0,92} = 3,26 \text{ А}; R = \frac{1,2}{3,26} = 0,37 \text{ Ом}; S = \frac{0,0175 \cdot 15}{0,37} = 0,7 \text{ мм}^2.$$

Выбираем двухжильный кабель с экраном КНРЭК 2×1.

Расчет и подбор кабелей системы пожаротушения дали следующий результат:

– на блок управления системой аэрозольного объемного тушения питание поступает от ГРЩ с помощью кабеля сечением 2×1, длиной 62 м;

– на блок промежуточного реле питание поступает от ГРЩ с помощью кабеля сечением 2×1 , длиной 15 м;

– на блок промежуточного реле сигнал поступает от блока управления системой аэрозольного объемного тушения для подачи сигнала на светозвуковое табло и отключение вентиляции, используется кабель сечением 7×1 , длиной 62 м;

– на светозвуковое табло и отключение вентиляции питание поступает от блока промежуточного реле, используется кабель сечением 2×1 , длиной 63,1 м;

– к клеммной коробке питание поступает от блока управления системы, используются кабели сечением 7×1 , длиной 124 м и сечением 10×1 , длиной 124 м;

– на генератор огнетушащего аэрозоля питание поступает от клеммной коробки, используется кабель сечением 2×1 , длиной 699 м;

– для питания датчиков сигнализации и кнопки предупреждения о пожаре питание поступает от аккумуляторной батареи к клеммной коробке, используется кабель сечением 2×1 , длиной 10 м. Далее датчики сигнализации и кнопка оповещения на каждый блок охраняемой зоны подключаются параллельно, затем от каждой охраняемой зоны сигнал поступает к клеммной коробке, используется кабель сечением 2×1 , длиной 91 м. От клеммной коробки сигнал поступает в рулевую рубку на блок управления системой, используется кабель сечением 2×1 , длиной 65 м.

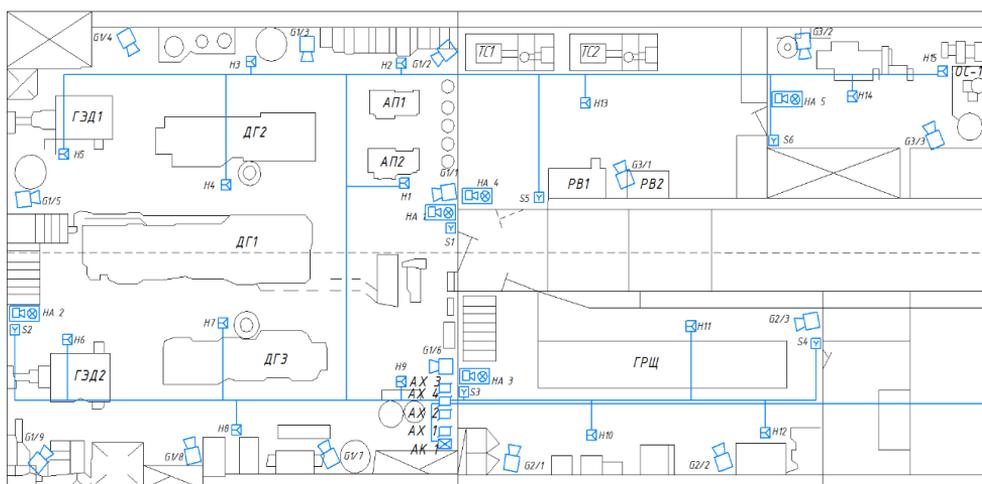


Рис. 3. Схема расположения системы пожарной сигнализации

Таким образом, общая длина кабеля марки КНРЭК 2×1 составляет 976 м, КНРЭК 7×1 – 186 м, КНРЭК 10×1 – 124 м. На рис. 3 представлена разработанная схема расположения элементов системы пожарной сигнализации (комбинированных датчиков и аварийных кнопок).

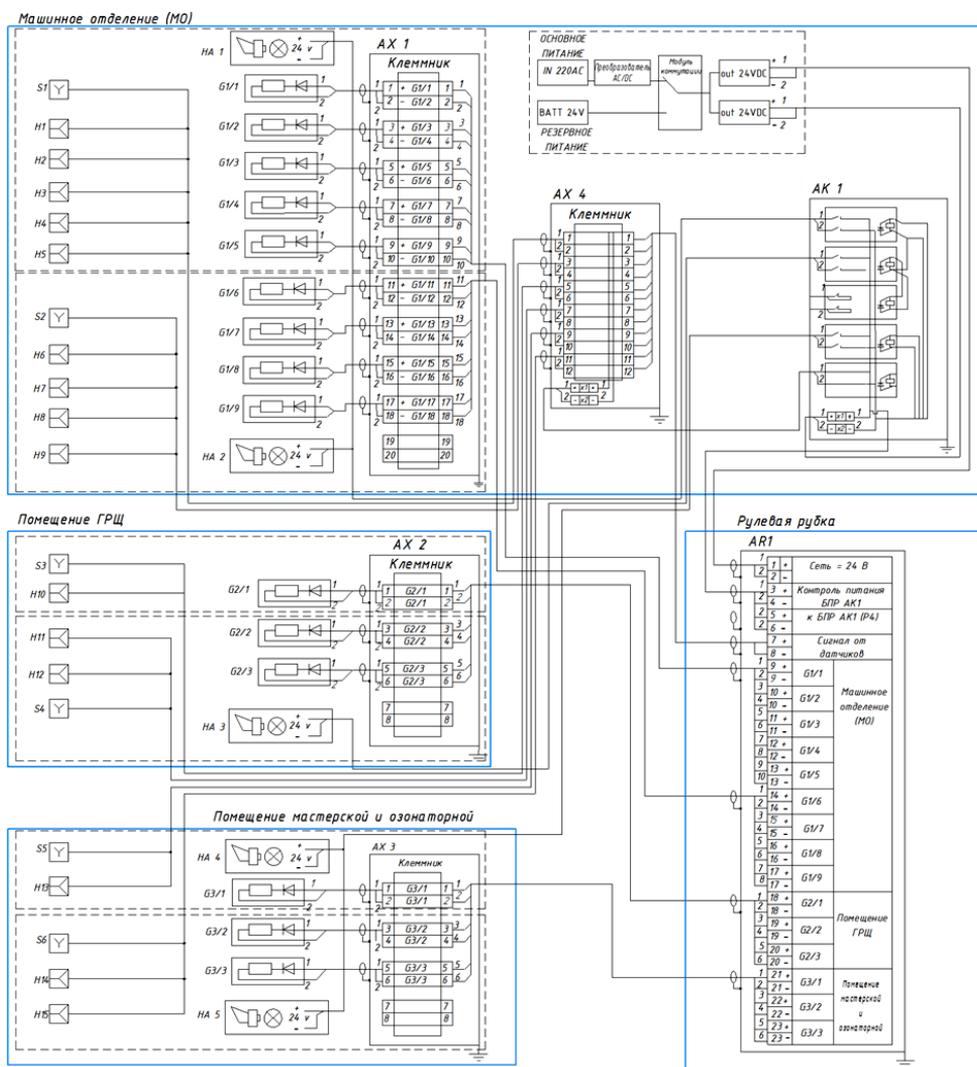


Рис. 4. Принципиальная схема системы пожаротушения: G1/1–G3/3 – генератор аэрозоля; HA1–HA5 – светозвуковой оповещатель «Аэрозоль! Уходи!»; S1–S6 – извещатель пожарный ручной; N1–N15 – комбинированный датчик сигнала; AX1–AX4 – соединительный ящик; АК1 – блок промежуточных реле; AR1 – блок управления системой аэрозольного объемного тушения

Согласно рассчитанному и подобранному оборудованию (источники питания, соединительные кабели, комбинированные датчики, аварийные кнопки и др.) была разработана новая электрическая принципиальная схема взаимодействия элементов автоматизированной системы пожарной сигнализации и пожаротушения, которая предполагается к внедрению на судне 1519 земснаряд «Камский–407» (рис. 4) [19, 20].

Анализ экономической эффективности модернизации системы пожарной сигнализации и пожаротушения на судне проекта 1519 подтвердил целесообразность внедрения новой автоматизированной системы аэрозольного объемного пожаротушения (табл. 4) [19].

Таблица 4

Экономическая эффективность модернизации электрооборудования

Показатели	Обозначение	Значения показателей
Потребные капиталовложения, руб.	ΔK	561 000
Прирост прибыли, руб.	$\Delta П$	171897
Увеличение рентабельности продукции, %	ΔP	32,36
Коэффициент эффективности капиталовложения	E_k	0,34
Период окупаемости, лет	$T_{ок}$	3 года 2 месяца

Заключение

Пожарная безопасность – основная задача при обеспечении живучести судна, поскольку последствиями пожара могут быть порча имущества, гибель людей, загрязнение окружающей среды и затопление судна [3, 22-25]. Целью исследования являлось повышение эффективности работы системы пожаротушения судна 1519 земснаряд «Камский–407» с возможностью локализации и ликвидации пожара на начальной стадии.

Для достижения поставленной цели были успешно решены следующие задачи: проведено исследование работы различных систем судна проекта 1519 земснаряд «Камский–407»; выявлены недостатки в работе установленной на судне системы пожаротушения; проведено изучение литературы по теме исследования, что позволило осуществить оптимальный выбор системы пожаротушения; проведен анализ существующих систем пожаротушения, применяемых на судах; подобрано оптимальное решение выявленной проблемы; проведены выбор

и расчеты требуемого оборудования; разработаны схемы новых систем пожарной сигнализации и пожаротушения, которые были объединены в единую систему автоматического пожаротушения.

Модернизация системы пожаротушения на судне проекта 1519 явилась экономически целесообразной, при этом срок окупаемости финансовых затрат на модернизацию составил 3 года 2 месяца.

В статье представлены результаты решения актуальной задачи обеспечения пожарной безопасности судов на примере внутреннего водного транспорта. Решения, предложенные в результате исследований, имеют огромное практическое значение, поскольку могут быть применены не только на каком-то конкретном судне (земснаряд), но и на других видах водного транспорта. Следует заметить, что разработанные рекомендации по совершенствованию системы пожаротушения в силу своей универсальности могут быть применены даже на других видах неводного транспорта, например на железнодорожном.

Библиографический список

1. Knudsen O.F., Hassler B. IMO legislation and its implementation: Accident risk, vessel deficiencies and national administrative practices // *Marine Policy*. – 2011. – 35(2). – P. 201–207. DOI: 10.1016/j.marpol.2010.09.006

2. Lindell M.K., Perry R.W., Prater C.S. Organizing Response to Disasters with the Incident Command System/Incident Management System (ICS/IMS) // Presented at the International Workshop on Emergency Response and Rescue. – 2005. – P. 1–14.

3. Mitroussi K. Quality in shipping: IMO's role and problems of implementation // *Disaster Prevention and Management*. – 2004. – 13(1). – P. 50–58. DOI: 10.1108/09653560410521698

4. Библиотека корабельного инженера Смирнова [Электронный ресурс]. – URL: <https://russrivership.ru/public/files/doc897.pdf> (дата обращения: 29.09.2021).

5. Абашев Д.Р., Чабанова Е.В., Чабанов Е.А. Повышение безопасности на пассажирских судах – внедрение новых систем контроля // *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика: материалы XII Междунар. интернет-конф. молод. ученых, аспирантов и студентов (InnoTech 2020) (16 ноября по 31 декабря 2020 г.)*. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020.

6. Борьба с пожарами на судах: справ. пособие: в 2 т. Т. 2 / В.И. Востряков [и др.]. – Л.: Судостроение, 1976.

7. European Maritime Safety Agency (EMSA) – Study on Standards and Rules for bunkering of gas-fuelled Ships Report No. 2012.005 Version 1.1/2013-02-15.

8. Sheinson R.S., Maranghides A., Fleming J.W. Water Mist for Obstructed Flammable Liquid Fires // International Water Mist Conference. – Vienna, 2001. – P. 39–48.

9. Анашечкин А.Д. Повышение эффективности огнетушащих и дезактивирующих составов на основе воды для морского и речного транспорта: дис. ...канд. техн. наук: 05.26.03. – СПб., 2006. – 145 с.

10. Прохоренко К.В., Серебренников С.Ю. Аэрозольное пожаротушение на промышленных объектах // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 5 (222). – С. 78–81.

11. Абашев Д.Р., Чабанов Е.А. Внедрение системы «Умный дом» на водном транспорте // Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология: материалы междунар. науч.-практ. конф.: (Якутск, 16 апреля 2020 г.). – Якутск: Изд-во СГУВТ, 2020.

12. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire Suppression by Water Sprays // Progress in Energy and Combustion Science. – 2000. – 26(2). – P. 79–130.

13. Heskestad G. Extinction of Gas and Liquid Pool Fires with Water Sprays // Fire Safety Journal. – 2003. – 38(4). – P. 301–317.

14. Евдокимова М.А., Кудрина Е.А., Чабанов Е.А., Скорюпина Л.С. Судостроение в России [Электронный ресурс] // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы конф. Т.1 / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь, 2019. – С. 41–44. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42327042>

15. Серебренников С.Ю., Прохоренко К.В., Чернов С.В. Критерии выбора и особенности проектирования систем пожаротушения на основе аэрозольно-порошковых модулей МПП ОПАН // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 5. – С. 77–81.

16. Руднев Е.В. О проблемах пожаротушения в морских портах и на судах в условиях низких температур // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2017. – № 1(21). – С. 43–52.

17. Пожарная безопасность на судах / Дж. О'Нейл, Т. Раш, У. Лэ-нинген [и др.]: пер. с англ. Т.Г. Селицкой и М.Г. Ставицкого; науч. ред. С.Г. Селицкий. – Л.: Судостроение, 1985.

18. ГОСТ 12.004-91*. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/3924656/>; Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: методические рекомендации. – М.: Изд-во ВНИИПО, 2003.

19. Четин А.В., Кулешов П.В., Чабанова Е.В. Повышение эффективности противопожарной защиты судна при использовании аэрозольного объемного пожаротушения // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2021): материалы II Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ. (Пермь, 12 февраля 2021 г.) / под ред. канд. пед. наук, доц. Е.В. Чабановой – Пермь, Пермский филиал «ВГУВТ», 2021. – С. 519–521.

20. Фомин В.И. Пожарная автоматика: состояние вопроса и перспективы развития: сб. лекций для руковод. состава МЧС России / под общ. ред. В.Ф. Мищенко. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: КУНА, 2004.

21. Любимов Е.В. Повышение пожаробезопасности судов и морских технических средств // Актуальные проблемы защиты и безопасности: сб. докл. Седьмой Всерос. науч.-практ. конф. Т. 3. – СПб., 2004. – С. 126–129.

22. IMO. Implementation of an Incident Management System (IMS). – London: IMO, 2012.

23. National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling. The use of surface and subsea dispersants during the BP Deepwater Horizon oil spill. – 2010. – P. 1–21.

24. IOSC Workshop Report: a Proposed International Guide for Oil Spill Response Planning and Readiness Assessment / E. Taylor, A. Steen, M. Meza, B. Couzigou, M. Hodges, D. Miranda, J. Ramos, M. Moyano // Presented at the International Oil Spill Conference. – 2008. – P. 1–18.

25. Wighus R., Water Mist Fire Suppression Technology – Status and Gaps in Knowledge // International Water Mist Conference. – Vienna, 2001. – P. 1–26.

References

1. Knudsen O.F., Hassler B. IMO legislation and its implementation: Accident risk, vessel deficiencies and national administrative practices. *Marine Policy*, 2011, 35(2), pp. 201-207. DOI: 10.1016/j.marpol.2010.09.006
2. Lindell M.K., Perry R.W., Prater C.S. Organizing Response to Disasters with the Incident Command System/Incident Management System (ICS/IMS). *Presented at the International Workshop on Emergency Response and Rescue*, 2005, pp. 1-14.
3. Mitroussi K. Quality in shipping: IMO's role and problems of implementation. *Disaster Prevention and Management*, 2004, 13(1), pp. 50-58. DOI: 10.1108/09653560410521698
4. Библиотека корабельного инженера Смирнова [Library of ship engineer Smirnov], available at: <https://russrivership.ru/public/files/doc897.pdf> (accessed 15 September 2021).
5. Abashev D.R., Chabanova E.V., Chabanov E.A. Povyshenie bezopasnosti na passazhirskikh sudakh - vnedrenie novykh sistem kontrolya [Improving safety on passenger ships, the introduction of new control systems]. *Innovatsionnye tekhnologii: teoriia, instrumenty, praktika: materialy XII Mezhdunarodnoi internet-konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov (InnoTech 2020)* (16 November on 31 December 2020). Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2020.
6. Vostriakov V.I. et al. Bor'ba s pozhamami na sudakh [Fighting fires on ships]. Leningrad: Sudostroenie, 1976, vol. 2.
7. European Maritime Safety Agency (EMSA) - Study on Standards and Rules for bunkering of gas-fuelled Ships Report No. 2012.005 Version 1.1/2013-02-15.
8. Sheinson R.S., Maranghides A., Fleming J.W. Water Mist for Obstructed Flammable Liquid Fires. *International Water Mist Conference. Vienna*, 2001, pp. 39-48.
9. Anashechkin A.D. Povyshenie effektivnosti ognetushashchikh i dezaktiviruiushchikh sostavov na osnove vody dlia morskogo i rechnogo transporta [Improved fire extinguishing and decontamination of structures on the basis of water for Maritime and river transport]. Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2006, 145 p.

10. Prokhorenko K.V., Serebrennikov S.Iu. Aerosol'noe pozharotushenie na promyshlennykh ob'ektakh [Aerosol fire extinguishing at industrial facilities]. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2019, no. 5 (222), pp. 78-81.

11. Abashev D.R., Chabanov E.A. Vnedrenie sistemy «Umnyi dom» na vodnom transporte [The introduction of a system of "Smart house" on water transport]. *Transportnye sistemy: bezopasnost', novye tekhnologii, ekologiia. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Iakutsk, 16 April 2020). Iakutsk: Sibirskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2020.

12. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire Suppression by Water Sprays. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2000, 26(2), pp. 79-130.

13. Heskestad G. Extinction of Gas and Liquid Pool Fires with Water Sprays. *Fire Safety Journal*, 2003, 38(4), pp. 301-317.

14. Evdokimova M.A., Kudrina E.A., Chabanov E.A., Skoriupina L.S. Sudostroenie v Rossii [Shipbuilding in Russia]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse. Materialy konferentsii*. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2019, vol. 1, pp. 41-44, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42327042>

15. Serebrennikov S.Iu., Prokhorenko K.V., Chernov S.V. Kriterii vybora i osobennosti proektirovaniia sistem pozharotusheniia na osnove aerazol'no-poroshkovykh modulei MPP OPAN [Selection criteria and design features of fire extinguishing systems based on aerosol-powder modules of MPP OPAN]. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2015, no. 5, pp. 77-81.

16. Rudnev E.V. O problemakh pozharotusheniia v morskikh portakh i na sudakh v usloviakh nizkikh temperatur [On the problems of fire extinguishing in seaports and on ships at low temperatures]. *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)*, 2017, no. 1(21), pp. 43-52.

17. O'Neil Dzh., Rash T., Leningen U. et al. Pozharnaia bezopasnost' na sudakh [Fire safety on ships]. Ed. S.G. Selitskii. Leningrad: Sudostroenie, 1985.

18. GOST 12.004-91*. Pozharnaia bezopasnost'. Obshchie trebovaniia [GOST 12.004-91*. Fire safety. General requirements], available at:

<http://base.garant.ru/3924656/>, *Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniia pozharov v pomeshcheniakh: metodicheskie rekomendatsii*. Moscow: VNIPO, 2003.

19. Chetin A.V., Kuleshov P.V., Chabanova E.V. *Povyshenie effektivnosti protivopozharnoi zashchity sudna pri ispol'zovanii aerol'nogo ob'emnogo pozharotusheniia [Improving the effectiveness of fire protection of a vessel when using aerosol volumetric fire extinguishing]*. *Transport: problemy, tseli, perspektivy (TRANSPORT 2021). Materialy II Vserossiiskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (Perm', 12 February 2021). Ed. E.V. Chabanova. Perm': Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, Permskii filial, 2021, pp. 519-521.

20. Fomin V.I. *Pozharnaia avtomatika: sostoianie voprosa i perspektivy razvitiia [Fire automation: the state of the issue and prospects for development]*. *Sbornik leksii dlia rukovodiashchego sostava MChS Rossii*. 2nd ed. Ed. V.F. Mishchenko. Moscow: OOO "KUNA", 2004.

21. Liubimov E.V. *Povyshenie pozharobezopasnosti sudov i morskikh tekhnicheskikh sredstv [Improving the fire safety of ships and marine technical means]*. *Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti. Sbornik dokladov Sed'moi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Saint Petersburg, 2004, vol. 3, pp. 126-129.

22. IMO. *Implementation of an Incident Management System (IMS)*. London: IMO, 2012.

23. National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling. *The use of surface and subsea dispersants during the BP Deepwater Horizon oil spill*. National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, 2010, pp. 1-21.

24. Taylor E., Steen A., Meza M., Couzigou B., Hodges M., Miranda D., Ramos J., Moyano M. *IOSC Workshop Report: a Proposed International Guide for Oil Spill Response Planning and Readiness Assessment. Presented at the International Oil Spill Conference*, 2008, pp. 1-18.

25. Wighus R., *Water Mist Fire Suppression Technology - Status and Gaps in Knowledge. International Water Mist Conference*. Vienna, 2001, pp. 1-26.

Сведения об авторах

Чабанов Евгений Александрович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ceapb@mail.ru).

Чабанова Евгения Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Иностранные языки» Пермского государственного аграрно-технологического университета им. академика Д.Н. Прянишникова (614990, Пермь, ул. Петропавловская, 23, e-mail: jentosina@yandex.ru).

About the authors

Evgenii A. Chabanov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Electromechanics Perm National Research Politechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: ceapb@mail.ru).

Evgeniia V. Chabanova (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor Department of Foreign Languages Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (614990, Perm, 23, Petropavlovskaya str., e-mail: jentosina@yandex.ru).

Получено 20.09.2021