

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВАХ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Плотников Л. В., Савин М. А., Курбатова Д. К., Кацнельсон И. Э. 2

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кононенко Е. В., Мокроусова О. А., Черкасский Г. А., Закинчак А. И. 20

РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Фирсов А. Г., Сибирко В. И., Загуменнова М. В. 30

К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

Хабибуллина Н. В., Лазарев И. С., Кузнецов А. А., Опарин И. Д. 47

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ТУШЕНИИ ПОЖРОВ**

Королев Д. С., Арифудин Е. З., Русских Д. В., Шмырева М. Б. 54

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ВЕТРОВ В ЮЖНЫХ РЕГИОНАХ СИБИРИ ДЛЯ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИХ МЕСЯЦЕВ

Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Проскова Н. Ю. 68

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Логинов В. В., Вишняков А. В., Зубарев И. А. 87

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ИТОГАМ 2023 ГОДА

Иванов Е. В., Рыбаков А. В., Тугушов К. В., Казаков В. Ю. 96

УДК 614.846

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВАХ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**Плотников Леонид Валерьевич¹, Савин Михаил Александрович²,
Курбатова Диана Константиновна², Кацнельсон Игорь Эдуардович**

¹ Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Конструктивно-техническая проблема выпуска мобильных пожарных машин с повышенной адаптивностью к суровым условиям может быть достигнута в проектных решениях перспективных образцов пожарных автомобилей (далее – ПА) низкотемпературной генерации, а также частично для уже существующего парка ПА исполнения У – доступными решениями непосредственно в пожарно-спасательных подразделениях. Конкретнее конструктивно-техническую проблему ПА для низкотемпературных условий предлагается решать разноплановым применением пассивных (эффективной теплоизоляции), а также активных средств (т. е. чаще всего дополнительным подводом теплоты к модулям. Пример, канадский снегоболотоход «Хаски-8»). Таким образом, необходимо кардинально изменить конструктивные решения основных агрегатов и систем ПА для коррекции их пониженных тепловых состояний.

Объектом исследования явилась система конструктивно-технических решений теплогенерирующего кавитатора по отношению к основным режимам и низким температурам окружающей среды в условиях его оперативного применения.

Предметом исследования служили объективные закономерности процессов теплофизического взаимодействия в системе «Низкотемпературная среда – Кавитатор – Поток пресной воды» при решении задач по ликвидации различных ЧС.

Настоящее инициативное исследование было проведено с целью экспериментального определения теплогенерирующих возможностей конструкции статического кавитатора, разработанной на основе штатного пожарного оборудования.

Задачи работы.

- Проанализировать известные патентные решения конструкций теплогенераторов, разработанных на физическом принципе кавитации и предназначенных для подогрева жидкостей.
- На основе штатного пожарного оборудования разработать наиболее теплоэффективную конструкцию статического кавитатора.
- После обработки и интерпретации результатов проведенных эмпирических исследований определить теплогенерирующий потенциал данной конструкции

теплогенератора в целом и вклад отдельных кавитирующих элементов для установления самых эффективных из них применительно к пожарному рукавному хозяйству в зимний период эксплуатации.

Результаты предэксплуатационных тестирований теплогенерирующего кавитатора пассивного типа предложенной конструкции, проведенные в ходе межведомственных опытно-исследовательских учений «Безопасная Арктика-2023», свидетельствуют об его определенной эффективности.

Действительно, при температуре окружающего воздуха в тестированиях – 15 °С и в диапазоне давлений на его входе 0,72–1,0 МПа температура воды на выходе из кавитатора возросла на величину от 0,1 до 0,2 °С. Это, согласно имеющимся экспериментальным данным, позволит увеличить длину рукавных напорных линий без их перемерзания примерно на 100 метров. В экспериментах давление потока после аппарата составляло 0,5–0,68 МПа, а подача воды находилась в пределах 15,1–17,6 л/с.

Ключевые слова: низкие температуры, пожарные рукава, пресная вода, подогрев, кавитатор

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A STATIC CAVITATOR FOR HEATING WATER IN FIRE PRESSURE HOSES BASED ON EXPERIMENTAL STUDIES

Leonid V. Plotnikov¹, Mikhail A. Savin², Diana K. Kurbatova³, Igor E. Katsnelson

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

Constructive-technical problem of mobile fire fighting vehicles production with increased adaptability to severe conditions can be achieved in design solutions of perspective samples of low-temperature generation PA, as well as, in part, for the already existing fleet of PA of U version—by available solutions directly in fire and rescue units. More specifically, it is proposed to solve the design and technical problem of PAs for low-temperature conditions by means of passive (effective thermal insulation) as well as active means (i.e. additional heat supply, most often to the modules). Example: Canadian snowmobile "Husky-8"). Thus, it is necessary to radically change the design solutions of the main units and systems of the PA to correct their reduced thermal states.

The *object of research* was the system of constructive and technical solutions of heat-generating cavitator in relation to the basic modes and low ambient temperatures in conditions of its operational application.

Objective regularities of the processes of thermophysical interaction in the system "Low-temperature environment - Cavitator - Fresh water flow" when solving tasks on liquidation of various emergencies served as the *subject of the research*.

The present initiative research was conducted *to* experimentally determine the heat generating capabilities of the static cavitator design developed on the basis of standard firefighting equipment.

Objectives of the work.

- To analyze the known patent solutions of heat generator designs developed on the physical principle of cavitation and intended for heating liquids.

- To develop the most thermally efficient design of static cavitator on the basis of standard fire equipment.

- After processing and interpretation of the results of the conducted empirical studies to determine the heat generating potential of this design of the heat generator as a whole and the contribution of individual cavitating elements to establish the most effective of them in relation to the fire hose in the winter period of operation.

The results of pre-operational tests of the heat-generating cavitator of passive type of the proposed design, conducted during the Interdepartmental Experimental Research Exercise "Safe Arctic 2023", testify to its certain efficiency.

Indeed, at the ambient air temperature in the tests of -15°C and in the range of pressures at its inlet of 0.72–1.0 MPa, the water temperature at the outlet of the cavitator increased by the value from 0.1–0.2 $^{\circ}\text{C}$. This, according to the available experimental data, will increase the length of hose pressure lines without their freezing by about 100 meters. In the experiments, the flow pressure after the apparatus ranged from 0.5 to 0.68 MPa, and the water supply was in the range of 15.1–17.6 hp.

Keywords low temperatures, fire hoses, fresh water, heating, cavitator

Введение

Известно, что зимой подача воды по рукавным линиям не остается постоянной. Она постепенно уменьшается. Практика тушения зимних пожаров стабильно показывает значительное понижение величин расходов жидких огнетушащих веществ (ОТВ) по причине льдообразования внутри рукавных линий и арматуры уже по прошествии 1,5–2 часа после начала их подачи [1].

Действительно, вода в рукавах замерзает ввиду рассеивания теплоты в окружающий холодный воздух. Очевидно, что интенсивность таких потерь находится в функции от градиента температур окружающего воздуха и воды, а также увеличивается с уменьшением скорости движения ОТВ. Таким образом, с точки зрения теплофизической науки, для предотвращения замерзания воды в рукавных системах в низкотемпературных условиях необходимо подавать по ним горячую воду.

После окончания пожаротушения или ликвидации ЧС производится демонтаж замерзших рукавных линий. Это требует значительного увеличения и усилий огнеборцев и времени, необходимых для рассоединения рукавов. При этом весьма усложняется уборка замерзших напорных рукавов в скатки и связанное с ним их транспортирование в пожарно-спасательное подразделение, что, в частности, приводит к сокращению срока их службы. Этим объясняется, что в регионах с суровыми природно-климатическими условиями порядка 35 % рукавов становятся непригодными к эксплуатации и подлежат списанию гораздо раньше установленных нормативами сроков [2].

Таким образом, в условиях низких температур являются весьма важными и актуальными вопросы обеспечения холодостойкости систем пожарных напорных рукавов (ПНР).

Следовательно, практика пожаротушения при низких температурах весьма нуждается в разработке новых эффективных и экономичных конструкций устройств

по подогреву воды в рукавах, а также комплекса эксплуатационных мер в дополнение к уже известным. Более того, по имеющимся экспериментальным данным известно [2], что нагрев потока на каждые $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет без перемерзания увеличить длину пожарной напорной рукавной линии на 50 м.

1. ПУТИ И СПОСОБЫ ПОДОГРЕВА ОГНЕТУШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В СИСТЕМАХ ПНР В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

1.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Для исключения размораживания систем ПНР науке и технике известен ряд способов подогрева воды. Например, используют вставки в разрывы рукавных линий (А.С. 1586722 СССР), применяют температурно-активированную воду (патент РФ № 2030194), устанавливают защитные кожухи, надетые на пожарные разветвления и подачи в имеющийся зазор пламени паяльных ламп либо газовых горелок и т. п. [3].

Для осуществления нагрева воды также известны теплогенераторы Ю. С. Потапова «Юсмар» [4]. Этот теплогенератор (патент РФ № 2045715) представляет собой вихревую трубу Ранка-Хильша, через которую циркулирует вода, и в ней происходит ее подогрев (рис. 1).

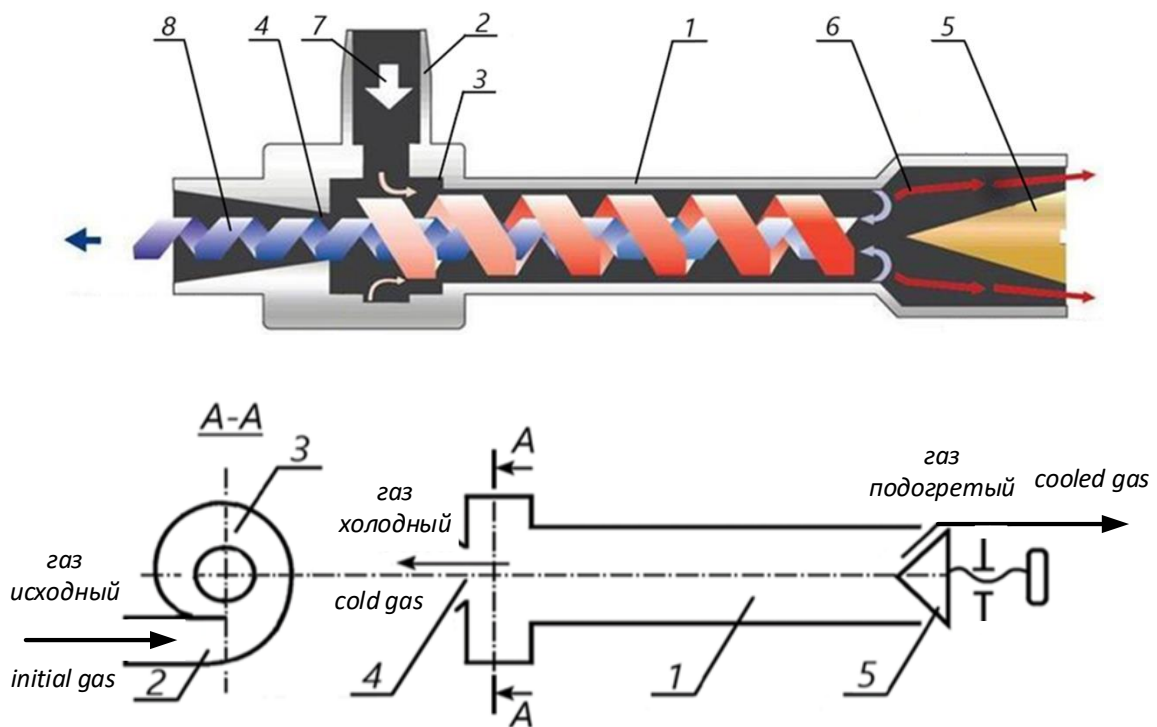


Рис. 1. Принципиальные схемы вихревой трубы Ранка-Хильша: 1 – труба цилиндрическая гладкая; 2 – сопло тангенциальное; 3 – улитка входная; 4 – диафрагма; 5 – дроссель; 6, 7, 8 – траектории движения газа в аппарате – подогретого, исходного холодного на входе и охлажденного соответственно

Fig. 1. Schematic diagrams of the Ranque-Hilsch vortex tube: 1 – smooth cylindrical pipe; 2 – tangential nozzle; 3 – inlet volute; 4 – diaphragm; 5 – throttle; 6, 7, 8 – path of gas movement in the apparatus - heated, initial gas cold at the inlet and cooled, respectively

В принципе эффект Ранка может быть реализован и для потока газа,

и для потока жидкости. Вихревая труба Ранка содержит трубу цилиндрическую

гладкую 1, снабженную соплом тангенциальным 2, улиткой 3, диафрагмой 4 с осевым отверстием и дросселем 5. При нагнетании газа под напором и за счет тангенциального ввода в вихревой трубе образуются два крупномасштабных вихревых жгута, движущихся по винтовым траекториям, один более холодный 8, чем исходный 7, а второй более горячий 6. При этом приосевые слои следуют через отверстие диафрагмы 4 в виде холодного потока, а периферийный горячий поток движется через дроссель 5.

Ю. С. Потапов, в своем вихревом теплогенераторе, в отличие от вихревой трубы Ранка, заменил газообразное рабочее тело (например воздух) жидким – водой.

В случае прикрытия дросселя 5 возрастает подача холодного потока через диафрагму 4 и, соответственно, уменьшается расход горячего. Одновременно изменяются температуры холодного и горячего потоков, а именно: у периферийного потока температура увеличивается, а у охлажденного, напротив, — температура еще более понижается.

Физическое своеобразие эффекта Ранка состоит в том, что горячие элементарные струйки газа или жидкости располагаются в вихре как бы внешне, а холодные — внутри, т. е. по оси прибора. В тоже время общеизвестно, что их более теплые слои, как имеющие меньшую плотность, и, соответственно, должны подниматься вверх, а в случае воздействия центробежных сил — стремиться к оси, а более холодные струйки имеют большую плотность и, соответственно, должны быть устремлены к периферии аппарата. А в данном случае все происходит с точностью до наоборот!

Таким образом, аппарат одновременно является как теплогенератором, так и хладогенератором. Данные вихревые аппараты выпускаются Ю. С. Потаповым серийно мощностью в диапазоне от 3 до 65 кВт.

Схема его вихревого теплогенератора, защищенного патентами, приведена на рис. 2.

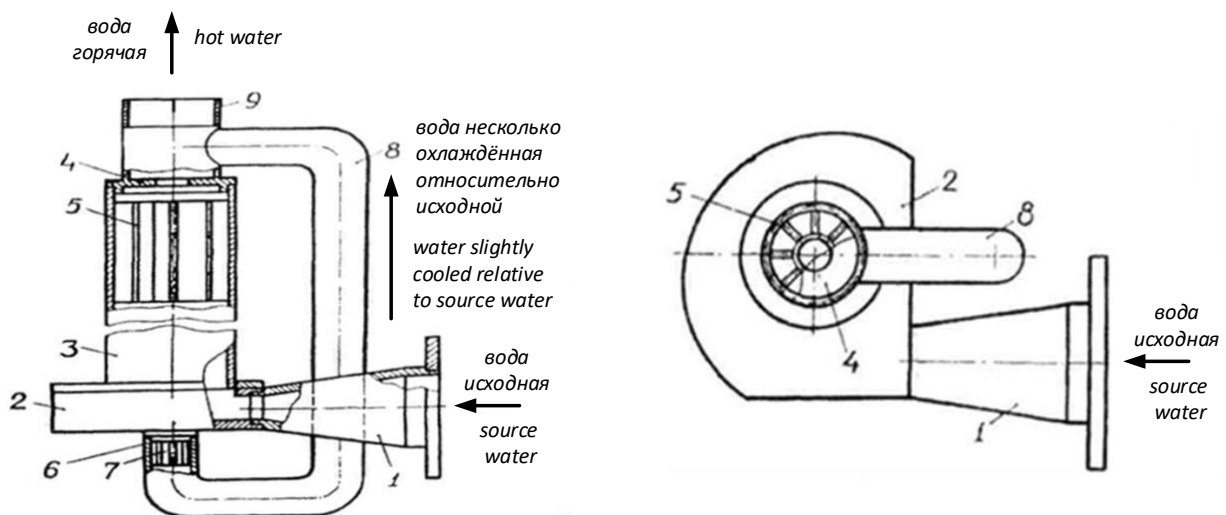


Рис. 2. Теплогенератор Ю. С. Потапова «Юсмар» (патент РФ № 2045715): 1-циклон; 2-корпус с циклоном, торцевая сторона которого соединена с цилиндрической частью корпуса в основании которой противолежащей циклону смонтировано тормозное устройство; 3– тормозное устройство, которое выполнено по меньшей мере из двух радиально расположенных ребер, закрепленных на центральной втулке. За тормозным устройством

в цилиндрической части корпуса установлено дно – 6, с выходным отверстием, сообщаемым с выходным патрубком – 8, соединенным с циклоном с помощью перепускного патрубка – 9, причем соединение выполнено на торце циклона, противолежащем цилиндрической части корпуса и соосно последнему

Fig. 2. Heat generator Yu.S. Potapova “Yusmar” (RF patent No. 2045715): 1-cyclone; 2-body with a cyclone, the end side of which is connected to the cylindrical part of the body, at the base of which a braking device is mounted opposite the cyclone; 3 – braking device, which is made of at least two radially located ribs attached to the central bushing. Behind the braking device in the cylindrical part of the body there is a bottom - 6, with an outlet communicating with the outlet pipe - 8, connected to the cyclone using a bypass pipe - 9, and the connection is made at the end of the cyclone opposite the cylindrical part of the body and coaxially with the latter

Рабочий процесс теплогенератора Ю.С. Потапова «Юсмар». (Направление движения воды в аппарате показано стрелками, см. рис. 2.) Его инжекционный патрубок 1 присоединен круглым фланцем к центробежному насосу (на рис. 2 не показанному), подающему воду под давлением 0,4 – 0,5 МПа. Другой конец инжекционного патрубка 1 заканчивается прямоугольным отверстием, через которое вода попадает в улитку 2. Подаваемый тангенциально в улитку поток воды ускоряется в ней в вихревом движении и поступает в низкотемпературный конец цилиндрической вихревой трубы 3, диаметр которой значительно больше диагонали прямоугольного отверстия инжекционного патрубка 1. Закрученный вихревой поток в трубе 3 перемещается по винтовой спирали у стенок трубы к ее горячему концу, заканчивающемуся плоским донышком 4 с отверстием в его центре для выхода горячего потока. Диаметр этого отверстия в несколько раз меньше диаметра трубы 3. Перед донышком 4 в трубе 3 закреплено «тормозное» устройство 5 – спрямитель потока, выполненный в виде нескольких плоских пластин, радиально приваренных к центральной втулке, соосной с трубой 3.

Когда вихревой поток в трубе 3 движется по направлению к спрямителю потока 5, в центральной части потока рождается противоток. В нем вода, тоже вращаясь, движется по направлению к штуцеру 6,

врезанному в плоскую стенку улитки 2 соосно с трубой 3 и предназначенному для выпуска из вихревой трубы холодного потока. При взаимодействии основного (периферийного) вихревого потока и противотока в трубе 3 и происходит разделение воды на горячую (у стенок трубы 3) и холодную (у оси трубы 3).

В штуцере 6 холодного выхода вихревой трубы установлено еще одно тормозное устройство – спрямитель потока 7, аналогичный тормозному устройству 5. Оно служит для частичного превращения энергии вращения холодного потока в теплоту. Превратившись с помощью тормозного устройства 7 из не очень холодной в теплую, вода холодного потока по байпасу 8 поступает в патрубок 9 горячего выхода вихревой трубы, где смешивается с горячим потоком, выходящим из вихревой трубы через отверстие в ее донышке 4. Из патрубка 9 горячая вода поступает по присоединенному к нему трубопроводу либо непосредственно к потребителю горячей воды, либо в теплообменник, передающий теплоту в контур потребителя (на схеме не показаны). В последнем случае отработанная вода (уже с меньшей температурой) возвращается из теплообменника по замкнутому контуру в насос, который вновь подает ее в теплогенератор.

В табл. 1 приведены рабочие параметры нескольких модификаций вихревых теплогенераторов описанной конструк-

ции, поставленных на серийное производство и выпускаемых промышленностью для продажи.

Таблица 1
Некоторые технические характеристики вихревых теплогенераторов ЮСМАР

Table 1
Some technical characteristics of YUSMAR vortex heat generators

Вихревой теплогенератор ЮСМАР Vortex heat generator YUSMAR	- 1М	- 2М	- 3М	- 4М
Габариты (диаметр, длина), мм Dimensions (diameter, length), mm	54/600	76/800	105/1000	146/1200
Масса, кг Weight, kg	7,5	10	15	28
Рабочее давление, МПа Working pressure, MPa	0,5	0,5	0,6	0,6
Расход воды, м ³ ·час ⁻¹ Water consumption, m ³ h ⁻¹	12	25	50	100
Мощность насоса, кВт Pump power, kW	2,7	5,5	11	45
Вырабатывает теплоты, ккал·ч. ⁻¹ /кВт Generates heat, kcal h ⁻¹ / kW	<u>3 600</u> 4,2	<u>6 600</u> 7,7	<u>13 300</u> 15,5	<u>75 800</u> 88,2
КПЭ [1] – коэффициент преобразования потребляемой вихревым генератором механической энергии в тепловую, % KPI [1] – conversion coefficient of mechanical energy consumed by a vortex generator into thermal energy, %	156	140	141	196

Теплогенераторы Ю. С. Потапова для нагрева жидкости экономичны, обладают экологически чистыми характеристиками и, в связи с отсутствием движущихся и вращающихся частей, высоким ресурсом (до 15 лет), надежны, не требуют технического обслуживания, работают без электричества или химикатов, компактны, безопасны, с регулируемостью температуры. Данные устройства обладают определенными массогабаритными характеристиками, кроме того, вода в аппарат входит тангенциально, движется в нем по винтовой траектории, и потому его гидравлическое сопротивление и падение напора в них достаточно велико.

Также известен гидродинамический кавитационный теплопарогенератор А. Г. Кочурова [5] (см. рис. 3).

Теплопарогенератор А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 работает следующим образом. После заполнения теплосети водой включается привод, приводящий в движение рабочий диск 7, который вращается вместе с жидкостью, находящейся в полости между рабочим диском 7, крышками 5, 6 и корпусом 1. При этом жидкость перемещается от центральной зоны полости к периферии, закручивается, испытывает циклы сжатия и разрежения – кавитацию, образованию которой способствуют выемки 11 на рабочем диске и выемки 11а на крышках 5, 6. Выполнение дополнитель-

ных выемок 13 на рабочем диске и дополнительных выемок-лунок 11а на крышках

5, 6 и корпусе усиливает процесс кавитации.

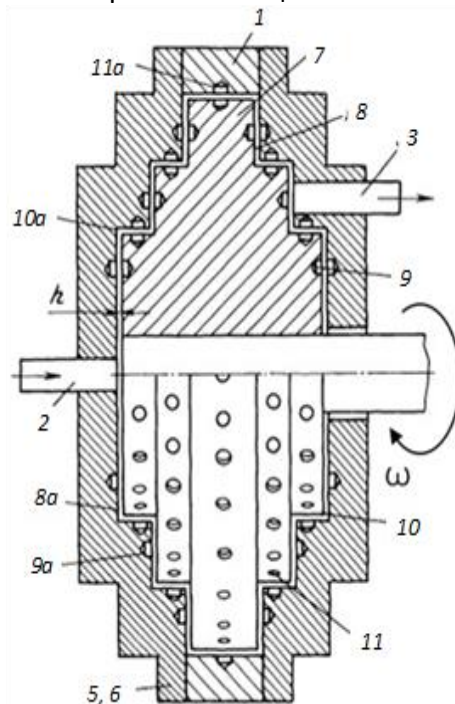


Рис. 3. Принципиальная схема гидродинамического кавитационного теплопарогенератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 (патент РФ 2277681): 1 – корпус; 2, 3 – патрубки входной и выходной; 4 – вал; 5, 6 – крышки; 7 – рабочий диск в виде линзы с кольцевыми, концентрично расположенными площадками – 8 и 8а, на которых выполнены выемки-лунки – 9 и дополнительные выемки-лунки – 11 и 11а. По отношению к корпусу 1 и крышкам 5 и 6 рабочий диск 7 установлен с некоторым зазором – h

Fig. 3. Schematic diagram of the hydrodynamic cavitation heat and steam generator A. G. Kochurov brand VTG-110 (RF Patent 2277681): 1 – body; 2, 3 – inlet and outlet pipes; 4 – shaft; 5, 6 – covers; 7 – working disk in the form of a lens with annular, concentrically located platforms – 8 and 8a, on which recesses-holes – 9 and additional recesses-holes – 11 and 11a are made. In relation to the body 1 and covers 5 and 6, the working disk 7 is installed with a certain gap – h

В данном техническом решении реализованы три известных физических явления: трение между рабочим диском, крышками и жидкостью; в потоке воды возникают многочисленные зоны разрежения и сжатия – кавитационные пузырьки; синтез молекул воды, т.е. их объединение в ассоциаты. Известно, что при таком соединении в ассоциаты 10 % молекул воды она быстро закипает. В результате происходит ее интенсивный нагрев либо даже парообразование, в функции от числа оборотов рабочего диска, числа выемок-лунок на корпусе,

крышках, а также на рабочем диске. Такими конструктивно-техническими решениями достигается подогрев воды посредством кавитации в данном устройстве, а также и в теплогенераторах А. Д. Петракова, Р. И. Мустафаева [6].

Теплоносителем от генератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 подпитываются системы ПНР, а также подогревается вода в емкости пожарного автомобиля (ПА). На месте ЧС устройство может использоваться для горячего водоснабжения и отопления отдельных зданий, к примеру учреждений здравоохранения, культуры и

т. п. Таким вихревым аппаратом оборудуются пожарно-спасательный автомобиль ПСА-С-6,0-40(6339) [7] и пожарная автоцистерна АЦ СОР 2,0-20/10 «Гефест», также изготавливаемая ОАО «Варгашиным заводом ППиСО».

При мощности, 110 кВт потребляемой данным спецагрегатом, его теплопроизводительность составляет 122,1 кВт, т. е. коэффициент преобразования потребляемой генератором механической энергии в тепловую (КПЭ – назван так по аналогии с холодильным коэффициентом) [3] равен 111 %. Таким образом, при работе в аппарате имеют место развитие, т. е. значительные по величине, кавитационные явления. Вследствие указанных воздействий [8] в гидродинамических установках имеет место износ статора и ротора, в результате производится частая их замена. Однако какие-либо данные о ресурсе данного агрегата отсутствуют в открытых источниках. Также очевидно, что для привода он нуждается в достаточно мощном силовом агрегате.

1.2. КОНСТРУКЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО (ПАССИВНОГО) КАВИТАТОРА

При проработке конструктивных решений аппарата за основу был принят ряд известных кавитирующих элементов для реализации в конструкциях пассивных (статических) кавитаторов, которые представлены в источнике [9]. В частности, винтообразные пластины либо тангенциальный (т. е. по касательной) ввод потока в рабочую камеру, плоские перегородки со сквозным отверстием/отверстиями различных форм и размеров, резкое расширение или сужение канала, резкие повороты потока и т. п.

Технической задачей разработки являлась эффективная и экономичная, простая и компактная конструкция теплогенератора, предназначенного для снижения темпов ледообразования в рукавах

и обеспечения необходимой интенсивности подачи огнетушащей жидкости в течение всего времени тушения пожара, повышения надежности и ресурса напорных рукавов в низкотемпературных условиях посредством подогрева потока, обеспечивающего увеличение их длины без замерзания, которое достигается материализацией в его конструкции физического явления кавитации.

Поставленная задача решилась тем, что была разработана, изготовлена в металле, протестирована, апробирована и предложена к внедрению в системе с пожарным спецагрегатом типоразмера ПН-40 конструкция статического 4-ступенчатого теплогенератора кавитаторного типа [10].

Кавитатор теплогенерирующий статический сконструирован на кафедре ПАСТиСТС Уальского института ГПС МЧС России на основе корпусных деталей серийного пожарного гидроэлеватора Г-600А. Для возникновения кавитации, разномасштабных пульсаций напора, ударных воздействий по импульсному типу, турбулентности и отрывных струй, других нелинейных эффектов в конструкции реализован каскад последовательно расположенных известных классических кавитирующих элементов. Комбинация включает: решетку, винтообразные элементы, внезапное сужение/расширение канала, влияющее на скорость потока и создание мощного вихреобразования. (Причем уже по итогам первых серий тестов от применения решетки на входе в кавитатор было решено отказаться, поскольку ее наличие существенно снижало величину напора после аппарата.) Кроме того, в аппарате листом из алюминиевого сплава и сваркой по периметру полностью заглушена фильтровальная решетка Г-600А.

На рис. 4 представлена конструкция кавитатора.

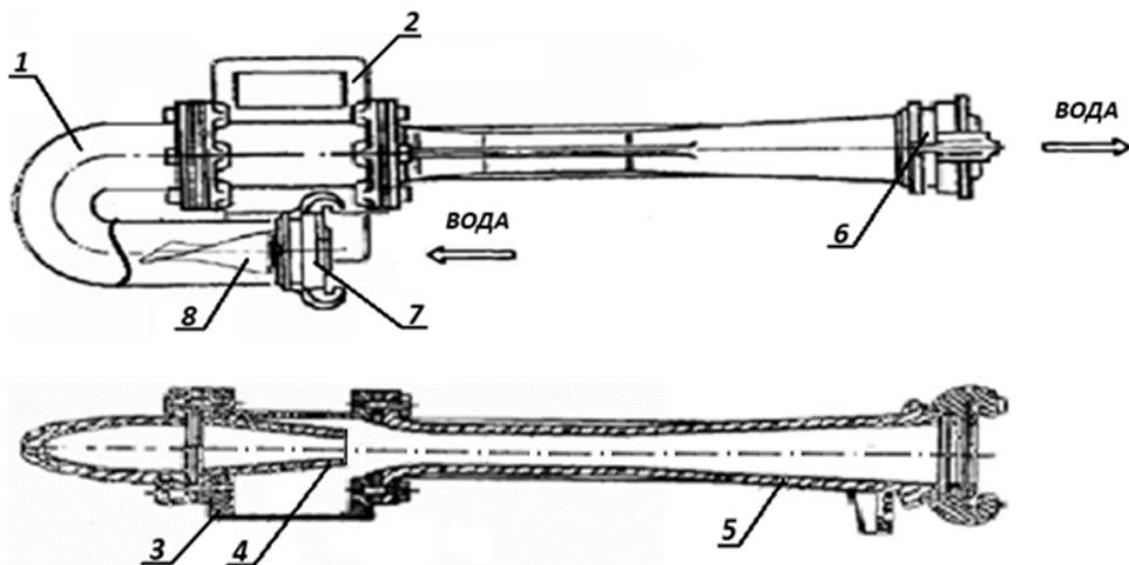


Рис. 4. Кавитатор теплогенерирующий статический в сборе: 1 – колено крутоизогнутое на 180 градусов; 2 – корпус с пластиной – 3, которая по периметру приварена к корпусу; 4 – сопло, специально изготовленное с отверстием sprыска диаметром 25 мм; 5 – диффузор; 6 и 7 – головки пожарные для присоединения рукавов; 8 – кавитирующие элементы винтообразного типа (предлагаемая теплоизоляция устройства условно не показана)

Fig. 4. Heat-generating static cavitator assembly: 1 – 180-degree steeply bent elbow; 2 – body with plate – 3, which is welded to the body along the perimeter; 4 – specially made nozzle with a spray hole with a diameter of 25 mm; 5 – diffuser; 6 and 7 – fire heads for connecting hoses; 8 – helical-type cavitating elements (the proposed thermal insulation of the device is not shown)

На рис. 5 схематично показаны (вид *а*) размещенные в приемной части крутоизогнутого колена *1* кавитатора подряд без зазора два винтообразных кавитирующих элемента *8*. Каждый из них изготовлен из полосы нержавеющей стали длиной 100 мм, толщиной 4 мм, шириной, равной внутреннему диаметру колена – «в свету», т. е. 81 мм, и с одинаковыми углами закрутки, равными 90° . Но их спирали

направлены в противоположные стороны (т. е. спирали разнонаправленные): одна имеет правую закрутку (по часовой стрелке), а другая – левую. Причем у торцов пластин фасок не предусмотрено.

На рис. 5 (вид *б*) изображены 3D-проекция взаимно-перпендикулярного расположения двух кавитирующих элементов винтообразного типа *8* и их ортогональная проекция – вид *в*.

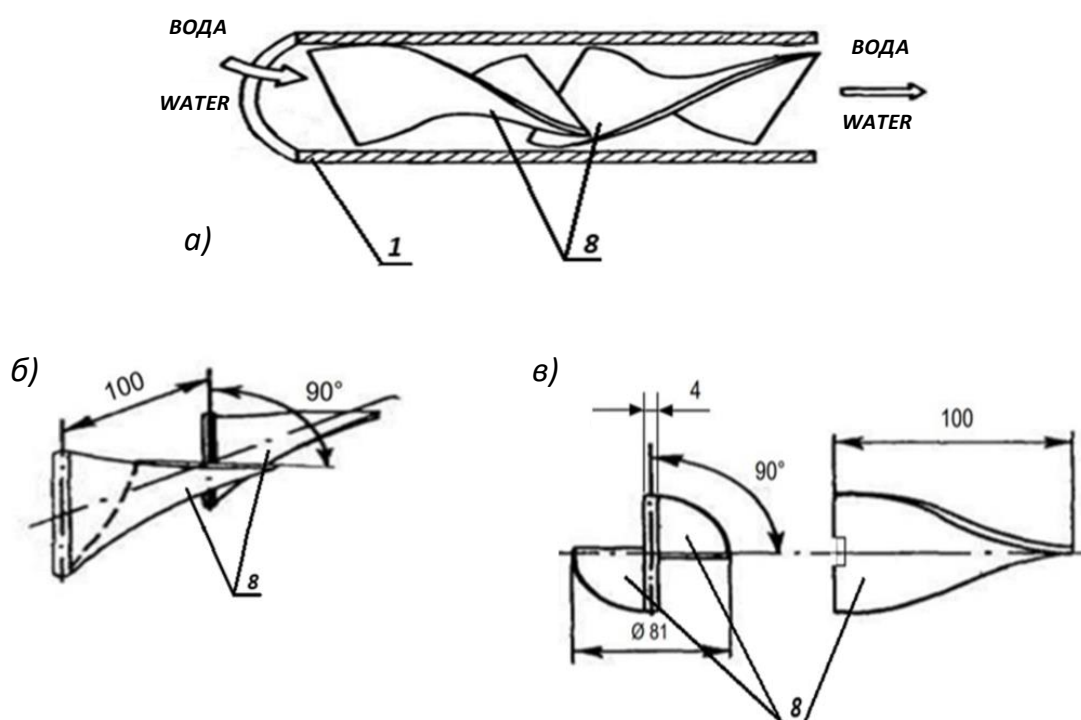


Рис. 5. Схема размещения в приемной части крутоизогнутого колена – *1* кавитатора двух винтообразных кавитирующих элементов – *8*. (Номера позиций одинаковы с рис. 4.)

Fig. 5. Scheme of placement in the receiving part of a steeply curved elbow – *1* cavitator of two helical cavitating elements – *8*. (The position numbers are the same as in Fig. 4.)

Для увеличения эффективности подогрева огнетушащей жидкости корпус аппарата эффективно теплоизолируют двумя слоями. В частности, используют один слой растягивающегося искусственного полотна типа «стрейч», который выполнен из полиэстера, капрона, причем ближе к корпусу гидроэлеватора располагается сторона синтетической ткани, имеющая блестящее отражательное покрытие.

Толщина нанесенного теплоизолирующего пенополиуретанового слоя составляет 40–60 мм.

Кавитатор работает следующим образом. При следовании оперативной спецтехники он размещается и фиксируется, например, в одном из отсеков ПА либо на технологическом креплении на крыше автомобиля. Зимой по прибытии к месту вызова в процессе боевого развер-

тивания сил и средств [11] кавитатор снимают с ПА и монтируют в разрыве напорной рукавной линии. После чего водитель ПА тем или иным способом заполняет водой полость пожарного насоса. Затем он производит выжим педали сцепления и включает привод спецагрегата. Далее водитель плавно отпускает педаль сцепления, несколько прибавляет число оборотов двигателя ПА и, соответственно, напор на коллекторе насоса и не торопясь, плавно полностью открывает на его коллекторе напорный патрубок левого (либо правого) борта. Затем, согласно указанию руководителя тушения пожара, доводит напор на спецагрегате до требуемого. Таким образом вода из насоса поступает в рукавную линию и далее в аппарат.

На первой ступени кавитатора, т. е. на двух винтообразных кавитирующих стальных пластинах с одинаковыми углами закрутки, но со спиральями, направленными в противоположные стороны, значительно увеличивается турбулентное вихреобразное движение жидкости. Затем нестационарные гидромеханические процессы в ней еще более усиливаются в крутозагнутом колене – суть второй ступени аппарата. Далее поток истекает из spryska сопла, где имеет место местное повышение скорости потока при снижении давления, т. е. кавитация уже становится гидродинамической. Четвертая ступень кавитатора – это суть резкое расширение потока. Так осуществляется подогрев воды в напорных рукавах все время работы пожарного насоса на месте вызова. После выполнения боевой задачи в процессе свертывания сил и средств кавитатор легко демонтируют. Его размещают на штатном технологическом креплении в отсеке или на крыше автомобиля.

Техническим результатом кавитатора является повышение эффективности тушения и сохранение ресурса рукавов,

уменьшение трудоемкости работ по разборке рукавных линий в низкотемпературных условиях. Технологическим преимуществом кавитатора является исключение необходимости применения специального оборудования для реализации внешнего подогрева рукавной арматуры и, соответственно, связанных с ним предварительных операций для осуществления розжига теплоисточников внешнего нагрева: паяльных ламп, горелок и т. д.

Данное энергонезависимое теплогенерирующее устройство кавитационного типа обладает небольшими массогабаритными характеристиками. Его предлагается оборудовать эффективной теплоизоляцией и стационарно разместить в насосном либо смежных отсеках ПА. Предложенное устройство весьма дешевое, простое в изготовлении и эксплуатации и может найти применение в практике пожарно-спасательных гарнизонов 29 регионов страны с холодным климатом.

Все это в целом повышает эффективность тушения пожаров в низкотемпературных условиях при условии комплектования основных пожарных автомобилей настоящим кавитатором.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для проведения эмпирических исследований были разработаны методика их проведения и соответствующая установка.

2.1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Получение теплогенерирующей характеристики съемного малогабаритного статического теплогенерирующего кавитатора производилось в процессе натурных испытаний на экспериментальной установке (рис. 6).

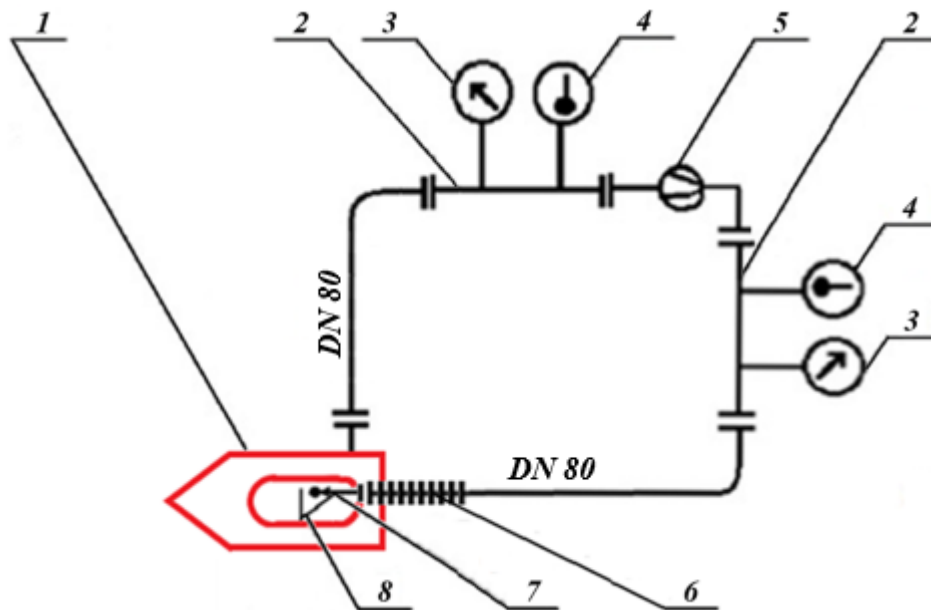


Рис. 6. Схема замкнутой экспериментальной установки для тестирования теплогенерирующего кавитатора: 1 – автоцистерна пожарная с насосом типоразмера ПН-40; 2 – вставка в рукавную линию; 3 – манометр; 4 – термометр цифровой малогабаритный ТЦМ 9410 [12] производства ООО НПП «Элемер», причем его первичный преобразователь (ТТЦ 06-1300-2НН(N) с пределами измерения 0–1300 °С, разрешающей способностью 0,1 °С и временем установления теплового равновесия 45 с) располагался поперек оси вставки и, соответственно, транзитной струи воды. Кроме того, в процессе проведения экспериментов термометры цифровые ТЦМ 9410 менялись местами неоднократно; 5 – кавитатор теплогенерирующий; 6 – рукав напорно-всасывающий диаметром 77 мм (DN 80); 7 – ствол ручной пожарной РС-70 со свинченным sprыском; 8 – устройство для гашения реакции струи

Figure 6. Diagram of a closed experimental setup for testing a heat-generating cavitator: 1 – fire tanker with a pump of standard size PN-40; 2 – insert into the hose line; 3 – pressure gauge; 4 – digital small-sized thermometer TCM 9410 [12] manufactured by NPP Elemer LLC, and its primary transducer (TTTs 06-1300-2NN(N) with measurement limits 0–1300 °C, resolution 0.1 °C and time to establish thermal equilibrium 45 s) was located across the axis of the insert and, accordingly, the transit jet of water. In addition, during the experiments, digital thermometers TCM 9410 changed places several times; 5 – heat-generating cavitator; 6 – pressure-suction hose with a diameter of 77 mm (DN 80); 7 – manual fireman's barrel RS-70 with screwed spray; 8 – device for extinguishing the reaction of the jet

Для реализации схемы (рис. 6), кроме того, было применено следующее оборудование:

- два рукава пожарных напорных диаметром 77 мм (DN 80);
- секундомер;
- термометр для измерения температуры окружающего воздуха;
- набор гаечных ключей.

2.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Оценка эффективности предлагаемого технического решения по подогреву воды в напорных рукавах согласно Патенту РФ 222925 (патентообладатель Ури ГПС МЧС России [10]) была осуществлена зимой и весной 2023 года по итогам натуральных экспериментов.

Сравнительные эмпирические исследования и обработка их результатов необходимы не только для качественных, но и количественных выводов о вкладе в интегральную эффективность как отдельно каждого из кавитационных элементов, предлагаемых к применению в конструкции теплогенерирующего кавитатора, так и их кумулятивного действия, т. е. в пакете.

Перед тестированием было проведено сезонное техническое обслуживание пожарного автомобиля.

Перед тестированием также были поверены оба термометра ТЦМ в органах Государственной метрологической службы согласно [13] и [14], аналогично оба манометра – в ЦБИТ МЧС России.

В процессе проведения эксперимента в протоколе регистрировалась температура окружающего воздуха. Надежность ($H = 0,9–0,95$) обеспечивалась тем, что каждый опыт проводился не менее 2–3 раз.

Первая серия экспериментов была реализована с объектом исследования – кавитатором, полностью укомплектованным всеми предлагаемыми элементами, обеспечивающими известные кавитационные эффекты.

Для исследования разработанных вариантов теплогенерирующих конструкций кавитатора ПА с насосом типоразмера ПН-40 был установлен по схеме (рис. 5). Далее исследование проводилось по следующей методике.

1. Для измерения отдельных параметров были расставлены участники испытания.

2. Из емкости автоцистерны заполнить полость спецагрегата водой и запустить ее двигатель.

3. Включить коробку отбора мощности (КОМ) и сцепление пожарного автомобиля.

4. Путем постепенного увеличения напоров и, соответственно, расходов воды

от насоса снять теплогенерирующую характеристику полнокомплектного кавитатора (не менее 6–7 точек). Для чего:

- 4.1. При давлении порядка 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) плавно полностью открыть правую напорную задвижку на коллекторе спецагрегата, увеличить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и довести давление воды до 0,3 МПа (3 атм) по манометру, расположенному на первой по ходу потока вставке. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

- 4.2. Далее увеличить количество оборотов вала рабочего колеса насоса и довести давление до 0,4 МПа (4 атм) по манометру на первой вставке. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

Затем в пп. 4.3–4.7 повторить действия пп.4.1–4.2, т. е. дискретно, с тем же шагом 0,1 МПа (1 атм) повышая давление на первом манометре до 0,9 МПа (9 атм), с отслеживанием периода времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и с регистрацией значения параметров.

- 4.8. Затем повысить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и довести давление по первому манометру до номи-

нального. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

5. Повторить действия пп.4.1–4.8, но только в противоположном направлении, т. е. дискретно, с тем же шагом понижая давление на первом манометре до минимального 0,3 МПа (3 атм) и с отслеживанием периода времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с). Результаты измерений напоров по манометрам и температур по цифровым термометрам занести в протокол.

6. Внести изменения в конструкцию теплогенерирующего кавитатора. А именно: демонтировать поочередно сначала перегородку с 50 отверстиями на входе воды в аппарат и провести соответствующую серию экспериментов согласно Методике (см пп. 4–5).

7. Для следующего эксперимента демонтировать из кавитатора сопло в сборе с насадкой и провести соответствующую серию экспериментов согласно Методике (см. пп. 4–5).

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

Полученные в экспериментах величины были занесены в сводный протокол (табл. 2). Зарегистрированные величины параметров были определены как среднее арифметическое результатов соответствующих измерений при экспериментах сначала с восходящими, а затем с нисходящими трендами изменения величин давления и расходов воды через кавитатор.

В частности, потери напора в аппарате устанавливались как разность показаний манометров на первой и второй вставках.

Расход пресной воды через кавитатор определялся по известному диаметру \varnothing 25 мм ствола ручного пожарного РС-70 со свернутым спрыском, давлению на выходе из кавитатора (по манометру второй вставки) и справочным числовым данным [13].

Все результаты последующих вычислений заносились в протокол испытаний.

Так, теплогенерирующие мощности кавитатора ΔN_1 , кВт, на каждом из указанных режимов были определены по известной зависимости:

$$\Delta N_1 = C_p Q \Delta t,$$

где C_p – удельная теплоемкость пресной воды при температуре 0 °С, $C_p = 4,212$ кДж / (кг·К) [16]; Q – расход пресной воды, кг/с через кавитатор; Δt – увеличение температуры воды на выходе t_2 из кавитатора над входом в него t_1 . Полученные расчетные данные размещены в столбце 10 табл. 2.

Для применения феноменологического подхода при определении эффективности подогрева воды в представленной конструкции пассивного кавитатора в сравнении с линейкой вихревых теплогенераторов «Юсмар» конструкции Ю. С. Потапова, а также с теплопарогенератором А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 было необходимо определить КПЭ аппарата на разных режимах.

Для этого гидродинамические потери мощности потока ΔN_2 , кВт, в нем рассчитывались по формуле:

$$\Delta N_2 = \rho g Q \Delta H \cdot 10^{-3},$$

где ρ – плотность пресной воды, $\rho = 1\,000$ кг/м³ [18]; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; Q – расход пресной воды, м³/с через кавитатор; ΔH – потери напора воды в аппарате на выходе $H_{\text{вых}}$ относительно входа $H_{\text{вх}}$ в него.

Полученные таким образом расчетные данные были занесены в столбец 9 табл. 2.

А затем коэффициенты преобразования потребляемой генератором механической энергии в тепловую (КПЭ) определены из отношения:

$$\text{КПЭ}_i = (\Delta N_1 / \Delta N_2) \cdot 100 \%$$

Расчетные данные размещены в столбце 11 табл. 2.

Результаты и их обсуждение

Результаты предэксплуатационных тестирований теплогенерирующего кавитатора пассивного типа предложенной конструкции в ходе межведомственных опытно-исследовательских учений «Безопасная Арктика-2023» свидетельствуют об его определенной эффективности.

Так, действительно, при температуре окружающего воздуха в тестированиях -15°C и в диапазоне давлений на его входе $0,72-1,0$ МПа температура воды на выходе из кавитатора возросла на величину от $0,1$ до $0,2^\circ\text{C}$. Это позволит увеличить длину рукавной напорной линии без ее перемерзания порядка на 100 метров [2]. В экспериментах давление потока после аппарата составляло от $0,5$ до $0,68$ МПа, а подача воды находилась в пределах $15,1 - 17,6$ л/с.

Как предполагалось, теплогенерирующая мощность кавитатора в экспериментах зависит от давлений на входе и находилась в диапазоне от $6,4$ до $14,8$ кВт. При этом гидравлические потери мощности потока воды в аппарате составили до $5,52$ кВт. Таким образом, величины КПЭ кавитатора изменялись от $195,3$ до $268,1\%$ (см. табл. 2).

Максимальные КПЭ вихревых теплогенераторов ЮСМАР (см. табл. 1) и у теплопарогенератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 составили 196% и 111% , соответственно. Следовательно, при эксплуатации предлагаемого кавитатора при значениях напоров на входе в аппарат в диапазоне $0,72-1,0$ МПа величины его удельных теплогенерирующих параметров (КПЭ) превышают аналогичные характеристики у известных конструкций на $15-20\%$.

Данное энергонезависимое теплогенерирующее устройство кавитационного типа обладает небольшими массогабаритными параметрами. Его предлагается оснастить эффективной теплоизоляцией и стационарно разместить в насосном или смежных отсеках ПА.

Выводы

Кавитация относится к физическим эффектам, промышленное использование которых в настоящее время активно развивается, не будучи полно и глубоко исследованным. Систематическими научными исследованиями применения явления кавитации в пожарной охране России никто не занимается. Можно констатировать, что физический механизм получения тепловой энергии в кавитаторе изучен не полностью, а полученные результаты свидетельствуют о необходимости продолжения экспериментальных исследований по эффективной реализации явления кавитации для подогрева воды в рукавах, а также по разработке и тестированию новых конструктивно-технических решений кавитаторов разных типов и назначений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Плеханов В. И. Организация работы тыла на пожаре. М. : Стройиздат, 1987. 128 с.
2. Алешков М. В. Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1990. 23 с.
3. Веттегрень В. И., Ложкин В. Н., Савин М. А. Эффективная эксплуатация основных пожарных автомобилей при низких температурах : монография. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2019. 357 с.

4. Потапов Ю. С., Фоминский Л. П. Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиции теории движения. Кишинёв ; Черкассы : ОКО-Плюс, 2000. 387 с.
5. Патент № 2277681 Российская Федерация, МПК F24J 3/00 (2006.01) Теплопарогенератор : № 2005100340/06 : заявл. 11.01.2005 : опубл. 10.06.2006 / Кочуров А. Г. // Yandex.ru : патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2277681C1_20060610 (дата обращения: 17.03.2024).
6. Шаров В. Вы будете смеяться господа? // Изобретатель и рационализатор. 2005. № 3. С. 20–21.
7. ОАО «Варгашинский завод ППиСО» Пожарно-спасательный автомобиль исполнения ХЛ (ПСА-С) ПСА-С-6,0-40(6339) модель 40ВР : руководство по эксплуатации 40ВР-00-00-00РЭ. 2011. 30 с.
8. Савин М. А., Курбатова Д. К., Кацнельсон И. Э. О проблемных вопросах и перспективах применения явления кавитации в практике пожарной охраны // Техносферная безопасность : науч. интернет-журн. 2022. № 4 (37). С. 77–97. URL: <https://www.uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--4-37/> (дата обращения: 05.06.2024).
9. Федоткин И. М., Гулый И. С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Киев : Полиграфкнига, 1997. Ч. 1. 940 с.
10. Патент № 222925 Российская Федерация, МПК А62С 31/00, А62С 3/00. Устройство для подогрева жидкости в пожарных рукавах : № 2023128973 : заявл. 09.11.2023 : опубл. 23.01.2024 // Yandex.ru : патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU222925C1_20240123 (дата обращения: 17.03.2024).
11. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 // Гарант.ру : информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/71846130/> (дата обращения: 05.06.2024).
12. Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ 9410 : руководство по эксплуатации. НКГЖ. 405591. 003РЭ. 44 с.
13. ПР 50.2.006-94. ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.
14. Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ 9410. Методика поверки : рекомендации МИ 2996–2006.
15. НПБ 163-97. Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.
16. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1973. 320 с.

REFERENCES

1. Plekhanov V.I. Organization of rear work during a fire. Moscow, Stroyizdat, 1987; 128. (rus).
2. Aleshkov M.V. Increasing the performance of pressure hose lines when extinguishing fires at low temperatures: abstract of thesis. dis...cand. tech. Sci. Moscow, 1990; 23. (rus).
3. Vettegren V.I., Lozhkin V.N., Savin M.A. Effective operation of basic fire fighting vehicles at low temperatures: monograph – 2nd ed., revised. and additional. Ekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019; 356. (rus).
4. Potapov Yu.S., Fominsky L.P. Vortex energy and cold nuclear fusion from the perspective of the theory of motion. Chisinau, Cherkassy “ОКО-Plus”, 2000; 387. (rus).
5. Patent No. 2277681 Russian Federation, IPC F24J 3/00 (2006.01) Heat steam generator : No. 2005100340/06 : application 11.01.2005 : publ. 10.06.2006 / Kochurov A. G. // Yandex.ru : patents. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2277681C1_20060610 (accessed 03/17/2024). (rus).
6. Sharov V. Will you laugh, gentlemen? // Inventor and innovator. 2005; 3: 20–21. (rus).
7. OJSC “Vargashinsky plant PПиSO” Fire and rescue vehicle, execution HL (PSA-S) PSA-S-6.0-40 (6339) model 40VR. Operating manual 40VR-00-00-00RE, 2011; 30. (rus).
8. Savin M.A., Kurbatova D.K., Katsnelson I.E. On problematic issues and prospects for the application of the phenomenon of cavitation in the practice of fire protection. Technosphere safety. 2022; 4(37): 77–97. (accessed 05/06/2024). (rus).
9. Fedotkin I.M., Gulyi I.S. Cavitation, cavitation equipment and technology, their use in industry (theory, calculations and designs of cavitation devices). Part 1. Polygraphbook, 1997; 940. (rus).
10. 10. Patent No. 222925 Russian Federation, IPC А62С 31/00, А62С 3/00. Device for heating liquid in fire hoses : No. 2023128973 : application 09.11.2023 : publ. 23.01.2024 // Yandex.ru : patents. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU222925C1_20240123 (accessed: 03/17/2024). (rus).
11. On approval of the Combat Charter of fire protection units, which defines the procedure for organizing fire extinguishing and emergency rescue operations : Order of the Ministry of Emergency Situations of

Russia dated 16.10.2017 No. 444 // Garant.<url> : an information Internet portal. URL: <https://base.garant.ru/71846130/> (date of reference: 06/05/2024). (rus).

12. Digital small-sized thermometers TCM 9410 : operation manual. NKGJ. 405591. 003RE. 44 p. (rus).
13. PR 50.2.006-94. GSI. Verification of measuring instruments. Organization and procedure of the event. (rus).
14. Digital small-sized thermometers TCM 9410. Verification procedure : recommendations MI 2996-2006. (rus).
15. NPB 163-97. Fire fighting equipment. The main fire trucks. General technical requirements. Test methods. (rus).
16. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Fundamentals of heat transfer. M. : Energiya, 1973. 320 p. (rus).

Информация об авторах

Плотников Леонид Валерьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры турбин и двигателей, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия 620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19. РИНЦ ID: 554502; Scopus AuthorID: 56993595200; WoS ResearcherID: K-7366-2019; ORCID: 0000-0002-4481-3607; Тел: 8(922)2916450; e-mail: leonplot@mail.ru

Савин Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств, Уральский институт ГПС МЧС России, 620062 Екатеринбург, ул. Мира, 22; Тел: 8(922)0277775; e-mail: m.savin50@mail.ru

Курбатова Диана Константиновна, студент, Уральский институт ГПС МЧС России, 620062 Екатеринбург, ул. Мира, 22; Тел: 8(902)5830745; e-mail: kkurbatovaddiana@mail.ru

Кацнельсон Игорь Эдуардович, 620088 Екатеринбург, ул. Кировградская д. 43 кв. 4; Тел: 8(902)4482422; e-mail: dianikur@mail.ru

Information about the authors

Leonid V. Plotnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Turbines and Engines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Mira St., 19, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; RSCI ID: 554502; Scopus AuthorID: 56993595200; WoS ResearcherID: K-7366-2019; ORCID: 0000-0002-4481-3607; e-mail: leonplot@mail.ru

Mikhail A. Savin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Fire, Rescue Equipment and Special Technical Equipment, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: m.savin50@mail.ru

Diana K. Kurbatova, student of Ural Institute of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: kkurbatovaddiana@mail.ru

Igor E. Katsnelson, 620088 Kirovgradskaya Str. 43, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: dianikur@mail.ru