

УДК 621.515

**ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ НАСАДОЧНОГО ТИПА**

**THE EXPLOSION SECURITY IMPROVING BY PACKED TYPE  
FLAME ARRESTERS**

**Смородова О.В., Китаев С.В., Сергеева К.В.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**O.V. Smorodova, S.V. Kitaev, K.V. Sergeeva**

**Ufa State Petroleum Technological University,  
Ufa, the Russian Federation**

**e-mail: olga\_smorodova@mail.ru**

**Аннотация.** В статье рассматриваются принципы действия огнепреграждающих устройств насадочного типа.

Взрывопожарная безопасность является одним из главных условий на производстве, занимающемся нефтегазопереработкой. Применение огнепреграждающих устройств – неотъемлемая часть в разработке мероприятий повышения безопасности производственных объектов.

По сведениям отчетов территориальных органов Ростехнадзора, анализ результатов расследования причин аварий за 2013 г. показывает, что наибольшее их количество — 43% - произошло по причине отказа и разгерметизации технических устройств, 21% аварий — по причине нарушения порядка организации и проведения ремонтных и газоопасных работ. Несовершенство технологии производства и конструктивные недостатки технических устройств явились причинами 14% аварий. Столько же - 14 % - аварий произошло по причине нарушения режима

технологического процесса и обслуживания технических устройств. Нарушение производства маневровых работ явились причинами 7% аварий.

Для устранения этих причин и повышения безопасности на технологических установках рекомендуются огнепреградители, которые благодаря своей конструкции предотвращают горение взрывоопасной смеси, разбивая образующееся пламя и препятствуя его проникновению внутрь трубопроводов и резервуаров с нефтепродуктами.

Рассмотрены различные типы насадок - кольца Рашига, металлокерамика, гравий, металлические сетки, гофрированные ленты и пластины, минеральная вата и пр. Каждый из этих типов имеет свои достоинства и недостатки. В работе выбран наиболее надежный огнепреградитель с насадкой из высокопористого открытоячеистого термостойкого керамического материала.

**Abstract.** This article discusses the principles of action of various fire-stop-assemblies, namely a packed type flame arresters.

The explosion safety is one of the main conditions in the workplace, dealing with refined, so the use of fire-stop-assemblies is an integral part in the development of production facilities to improve security measures.

According to the territorial bodies of Rostekhnadzor reports, analysis results of the investigation of causes of accidents in 2013, shows that the greatest number of them - 43%, was due to failure and depressurization of technical devices, 21% of accidents - due to violation of the order of organizing and carrying out repairs and gas hazardous works. Inadequate technology and design flaws technical devices have caused 14% of accidents. Just 14% of accidents have happened due to violations of the process and maintenance of technical devices. Violation of shunting production have caused 7% of accidents.

In order to eliminate these causes, and enhance security at the various plants are ready to use flame arresters, which prevent burning, breaking the resulting

flames into many streams, thus preventing penetration of flame into the pipelines and fuel tanks.

There are various types of arrester nozzle, such as Raschig rings, cermets, gravel, metal mesh and corrugated ribbons plate mineral wool and others. Each of these types has its own advantages and disadvantages. In this paper we selected the most reliable flame arrester with a nozzle, elements of which are permeable to gas flow, have a high resistance to the flow of the gaseous medium. This one consists of a highly porous open-cell attachment of the ceramic heat-resistant metallic material.

**Ключевые слова:** огнепреградитель, насадка, пожаровзрывобезопасность, пламегасящий элемент, пламя.

**Key words:** flame arrester, nozzle, fire-explosion safety, flame-retardant element, flame.

Интенсивное развитие нефтегазовой отрасли сопровождается ростом энергонасыщенности технологических производств. В настоящее время нефтеперерабатывающие и нефтехимические заводы являются стабильным источником техногенных опасностей глобального характера. Сложившаяся ситуация требует безотлагательного принятия мер по обеспечению безопасности населения и окружающей среды [1].

Сложность решения вопросов взрывопожаробезопасности связана со многими факторами. Основными из них являются следующие:

- наличие опасностей обширного спектра происхождения и действия, которые вызывают потери материальных и людских ресурсов;
- высокая концентрация химических энергоносителей, нефти и нефтепродуктов, их способность воспламеняться, взрываться и загрязнять атмосферу опасными и вредными выбросами;
- быстрое развитие объемов производства;

- расширение и изменение ассортимента нефти (появление сернистых и высокосернистых нефтей и газового конденсата);

- интенсификация технологий, рост единичных мощностей аппаратов, из-за чего температура, давление, содержание взрывоопасных веществ растет и приближается к критическим.

Это неизбежно приводит к увеличению опасности возникновения пожаров, огненных взрывов топливно-воздушных смесей и размеров причиняемого ими ущерба. Именно по этим причинам снижение уровня пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих предприятий является одной из главнейших компонент обеспечения защищённости населения и окружающей среды от угроз техногенного характера [2]. Сложившаяся в отрасли ситуация неизбежно приводит к насущной необходимости решения вопросов обеспечения безопасности эксплуатации нефтегазовых объектов.

Непрерывное развитие производств с наращиванием технологических мощностей установок предъявляет требования проведения постоянного автоматического контроля параметров производства для принятия соответствующих технических мер по снижению уровня опасности возникновения пожаров и взрывов. Кроме технических мер, сопровождающихся материальными затратами, рекомендуется активно внедрять организационные условно беззатратные мероприятия по повышению безопасности технологических процессов промышленного оборудования.

Анализ состояния оборудования нефтепереработки и нефтехимии показал, что главные проблемы на территории промышленных предприятий создают аварийная загазованность, пожары и взрывы [3] (рисунок 1).

Для предотвращения распространения пожара установки должны быть оснащены противопожарными преградами. Не меньшую роль в поддержании безаварийной эксплуатации оборудования играет

установление предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций, устройство аварийного отключения и переключения аппаратов и коммуникаций.

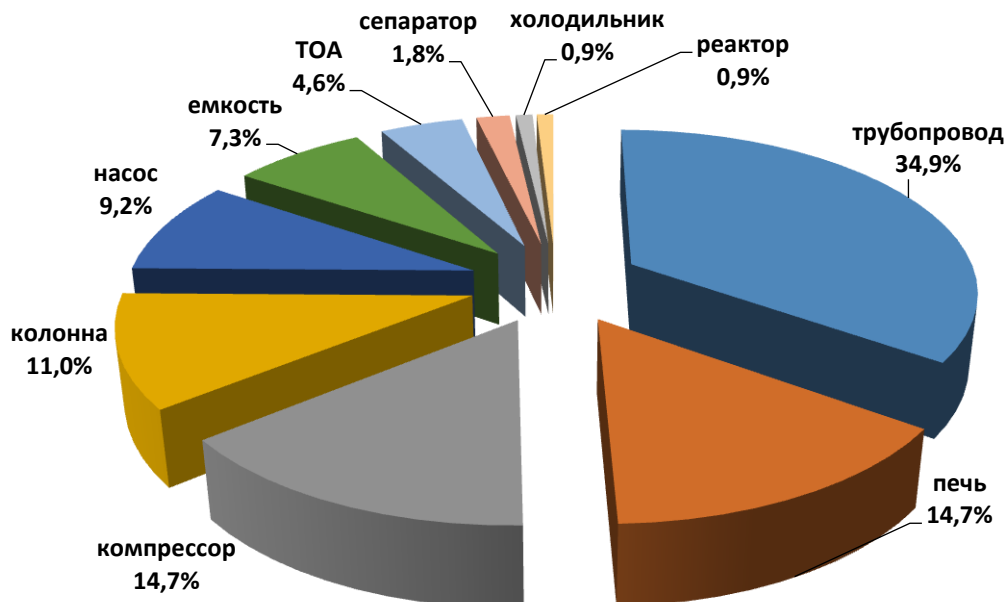


Рисунок 1. Структура аварийных инцидентов на установках нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств России, 2000-2014 гг.

При этом немаловажную роль играет применение огнепреграждающих устройств (огнепреградителей, затворов, клапанов, заслонок и других), разрывных предохранительных мембран на аппаратуре и коммуникациях, которые исключают или ограничивают розлив и растекание жидкости при пожаре. Так, например, для предотвращения проскока пламени из факельной горелки в технологическую систему устанавливаются специальные предохранительные устройства (гидрозатворы, огнепреградители).

Принцип действия огнепреградителей любой конструкции состоит в том, что струя горячей топливно-воздушной смеси разбивается в пламегасящем элементе на огромное число струек с минимальным диаметром. При этом при прохождении горячей смеси через каналы насадки теплотери становятся равными и даже превышают

тепловыделения, и горение останавливается. Эффективность пламегасящего элемента определяется площадью теплообмена с окружающей средой и пропорционально с ней связана.

Основным конструктивным элементом огнепреградителей является пламегасящий элемент в корпусе. В зависимости от вида этого элемента огнепреградители подразделяются на сетчатые, пластинчатые, ленточные, с элементом из пористого и из гранулированного материала.

Пламегасящий элемент сетчатых огнепреградителей представляет собой пакет из нескольких металлических сеток, уплотняющихся в корпусе с помощью прокладок.

В пластинчатых огнепреградителях пламегасящий элемент состоит из чередующихся плоских и гофрированных пластин.

В ленточных устройствах пламегасящим элементом является плотный рулон, который получают намоткой на центральный стержень плоской и гофрированной лент. Материалом для лент служит алюминиевая фольга, нержавеющая сталь или никель.

У огнепреградителей с насадкой из пористого материала таким элементом является металлокерамика и металловолокно. Такая насадка представляет собой чаще всего диски или трубки, спеченные из гранул металлического порошка, отрезков или витков тонкой проволоки.

Огнепреградители с насадкой из гранулированного материала представляют собой корпус с насадкой из стальных, агалитовых или фарфоровых шариков, зерен гравия, кварца или иного прочного термостойкого материала.

У сухих огнепреградителей используется принцип гашения пламени в узких каналах. В них теплоотвод к стенкам каналов превышает тепловыделение в зоне реакции горения. Температура горючей среды уменьшается до величины ниже температуры воспламенения, скорость реакции снижается, формирование волны горения сводится к нулю и горение прекращается.

Одной из доступных разработок для предприятий нефтепереработки и нефтехимии является огнепреградитель с пламегасящим элементом кассетного типа. Сравнительно невысокая эффективность подавления пламени за счет того, что через узкие каналы свободно проходит и горючая смесь, служит причиной неширокого его применения. Зачастую при его использовании пламя продолжает распространяться практически на всю длину пламегасящих элементов.

Подобного недостатка лишено устройство, в котором пламегасящий элемент выполнен из стеклянных или фарфоровых шариков, гравия, корунда или других гранулированных сыпучих материалов. В качестве насадки также возможно применение колец Рашига [4]. Для резервуаров с горючими жидкостями чаще всего кассетные огнепреградители устанавливают последовательно с дыхательными и предохранительными клапанами, чтобы предотвратить проникновение пламени внутрь резервуара (рисунок 2-а) [5].



Рисунок 2. Огнепреградители насадочного типа

Одной из важных эксплуатационных характеристик огнепреградителей является их долговечность при работе в зоне высоких температур - огнестойкость. Для увеличения огнестойкости используют усиленный теплоотвод в окружающую среду за счет элементов из высокотеплопроводного и теплоемкого материала (рисунок 2б) [6].



Как правило, пламегасящие элементы огнепреградителей содержат проницаемые для потока газа насадки. Эти элементы имеют высокое сопротивление потоку газовой среды, т.к. для них используются пористые изделия. Чаще всего засыпка выполняется в виде мелкозернистого тугоплавкого материала, пористой металлокерамики, сетки, волокнистых материалов. Как правило, пористость материалов пламегасящих элементов не превышает 30...50%.

Наиболее эффективной современной разработкой в данном направлении является пламегасящий элемент из высокопористого открытоячеистого термостойкого керамического металлического материала (ВПЯМ) с канальной пористостью на основе дублирования структуры пенополиуретана (рисунок 2в). Это может быть тугоплавкий либо керамический, либо металлический материал. Отличие его от всех прочих в том, что внутренняя структура имеет канальную пористость, которая достигает 95...98%.

Такой пористостью (до 98%) не обладает ни один известный материал для ОП, поэтому применение ВПЯМ позволяет достигнуть эффекта значительного снижения сопротивления потоку газа и снизить габариты ОП по сравнению с применением прочих пламегасящих элементов. Наличие канальной пористости, присущей только этому материалу, способствует распространению пламени не только в осевом направлении, но и в перпендикулярном. Это приводит к увеличению пути пламени и способствует более быстрому его гашению [7].

Одним из основных показателей работы огнепреградителей является снижение давления взрыва в объеме разгружаемого отделения Р, МПа (рисунок 3).



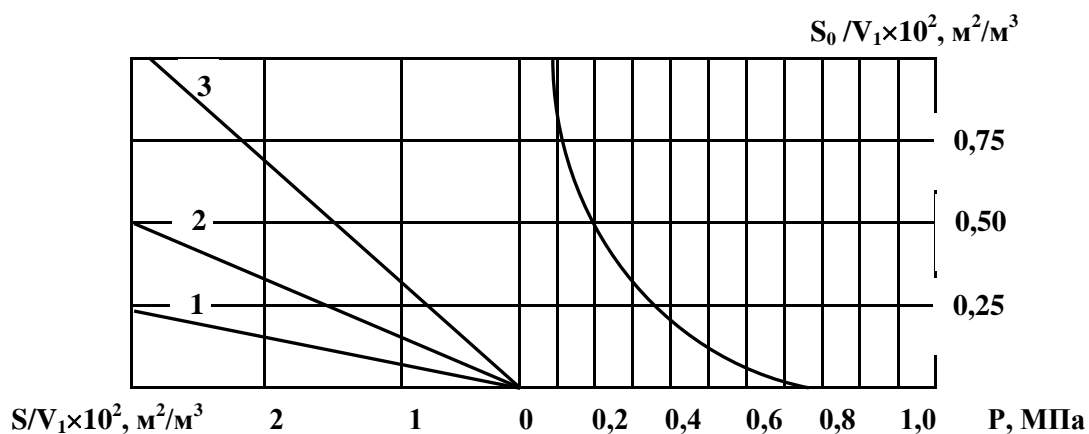


Рисунок 3. Зависимость снижения давления взрыва от суммарного удельного сечения каналов огнепреградителей [8]:  
 1 – кассетный ОП; 2 – ОП с гофрированным пламегасящим элементом;  
 3 – ВПЯМ

Давление взрыва зависит от свободного объема оболочки  $V$ , м<sup>3</sup> и от фактической площади сечения каналов насадки пламегасителя  $S_1$ , м<sup>2</sup>. Для адекватного сопоставления огнепреградителей разных конструкций используется понятие приведенной к эквивалентному отверстию площади сечения каналов насадки  $S_0$ , м<sup>2</sup>. Номограмма на рисунке 3 демонстрирует относительные свойства огнепреградителей по способности снижать давление взрыва. Видно, что при прочих равных условиях пламегаситель 1 типа поддерживает максимальное давление, тогда как устройства типа 2 и типа 3 поддерживают давление взрыва ниже в 1,5 и практически в 3 раза соответственно.

Для интегральной оценки качества огнепреградителей были систематизированы основные показатели их эффективности (таблица 1):

- способность предотвращать воспламенение и локализовать пламя;
- способность снижать давление взрыва в разгружаемом объеме;
- продолжительность работоспособности при воздействии пламени;
- массогабаритные характеристики;
- работоспособность при вибрационных нагрузках.

Таблица 1. Ранжирование огнепреградителей по совокупности технических характеристик

Показатель	Вес показателя в интегральной оценке, $g_i$	Кассетный ОП	ОП с гофрированным ОЭ	ОП с ВПЯМ
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Способность предотвращать возгорание и локализовать пламя, $K_1$	0,25	1,00	1,00	1,00
Способность снижать давление взрыва в объеме разгрузки, $K_2$	0,25	0,33	0,50	1,00
Продолжительность работоспособности при воздействии пламени, $K_3$	0,21	0,00	0,00	1,00
Массогабаритные характеристики изделия, $K_4$	0,13	0,00	1,00	1,00
Работоспособность при вибрационных нагрузках, $K_5$	0,16	0,00	1,00	1,00
<b>Накопленный ранг с учетом весовых коэффициентов, <math>E</math></b>		<b>0,33</b>	<b>0,66</b>	<b>1,00</b>

Для вычисления накопленного ранга огнезащитных свойств пламегасящих элементов были установлены весовые коэффициенты учета вклада каждого показателя в интегральную оценку. Значения коэффициентов определены по статистическим данным эксплуатации устройств [9]. В результате накопленный ранг каждого огнепреградителя (рисунок 4 [10]) определен по формуле:

$$E = \sum_{i=1}^N g_i K_i$$

где  $g_i$  - относительный вес каждого свойства при оценке интегрального показателя пламегасителя, отн.ед.;

$K_i$  - количественная оценка каждого свойства пламегасителя по шкале от 0 до 1, отн.ед.;

$N$  – количество, оцениваемых свойств пламегасителя.

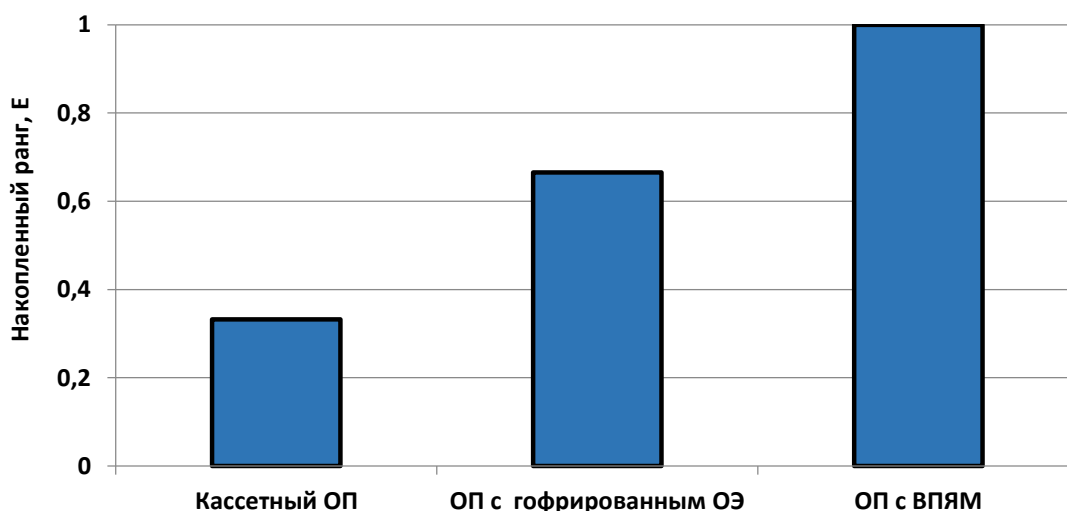


Рисунок 4. Ранжирование огнепреградителей по интегральной оценке эксплуатационных показателей

## Выводы

1. В производствах, связанных с обращением взрывопожароопасных веществ, необходимо принимать организационные и технические меры по обеспечению безаварийной эксплуатации технологических установок. Для исключения возгорания горючих веществ и для локализации процесса горения необходимо использовать огнепреградители с пламегасящими элементами.

2. По совокупности эксплуатационных характеристик предпочтительной является конструкция пламегасящего элемента с высокопористой открытоячеистой металлической или керамической насадкой. При прочих равных условиях, огнепреградитель с ВПЯМ имеет накопленный ранг практически в 1,6...3 раза выше аналогов.

## Список используемых источников

- 1 Способы повышения эффективности управления промышленной безопасностью /Галлямов М.А., Костарева С.Н. Гилязов А.А., Смородова О.В. //Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: II Междунар. науч.-практ.конф. Уфа, 2008. С.299-301.
- 2 Смородова О.В., Хафизов Р.В. Безопасность эксплуатации технологических установок нефтепереработки//Инновационная наука. 2016. №9. С.80-83.
- 3 Киреев И.Р., Закирова З.А., Латыпова Э.А. Методы устранения опасности возникновения взрывов и пожаров на ООО РН-Юганскнефтегаз//Безопасность жизнедеятельности. 2015. №10(178). С.37-39.
- 4 Куцын П.В. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности: учеб. пособие. М.: Недр,1987. 247 с.
- 5 Огнепреградитель /Г.Ю. Панчеха: пат. Рос. Федерации на изобр. № 2311935 от 10.12.2007.
- 6 Огнепреградитель насадочного типа /О.С. Кочетов: пат. Рос. Федерации на изобр. № 2484864 от 20.06.2013.
- 7 Огнепреградитель /Ф.С. Шимчук: пат. Рос. Федерации на изобр. № 2296603 от 10.04.2007.
- 8 ГОСТ Р 51330.1-99 Электрооборудование взрывозащищенное. М.: Изд-во стандартов, 2001. Ч. 1. 36 с.
- 9 Стрижевский И.И., Заказнов В.Ф. Промышленные огнепреградители. М.: Химия, 1974.264 с.
- 10 Смородова О.В., Хафизов Р.В. Способ ранжирования газоаналитических систем//Символ науки. 2016. № 8-2. С. 84-88.

## References

- 1 Sposoby povyshenija jeffektivnosti upravlenija promyshlennoj bezopasnost'ju /Galljamov M.A., Kostareva S.N. Giljazov A.A., Smorodova O.V. //Promyshlennaja bezopasnost' na vzryvopozharoopasnyh i himicheski opasnyh proizvodstvennyh obektah: II Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. Ufa, 2008. S.299-301. [in Russian].
- 2 Smorodova O.V., Hafizov R.V. Bezopasnost' jekspluatacii tehnologicheskikh ustanovok neftepererabotki//Innovacionnaja nauka. 2016. №9. S.80-83. [in Russian].
- 3 Kireev I.R., Zakirova Z.A., Latypova Je.A. Metody ustraneniya opasnosti vozniknoveniya vzryvov i pozharov na OOO RN-Juganskneftegaz//Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2015. №10(178). S.37-39. [in Russian].
- 4 Kucyn P.V. Ohrana truda v neftjanoy i gazovoj promyshlennosti: ucheb. posobie. M.: Nedr,1987. 247 s. [in Russian].
- 5 Ognepregraditel' /G.Ju. Pancheha: pat. Ros. Federacii na izobr. № 2311935 ot 10.12.2007. [in Russian].
- 6 Ognepregraditel' nasadochnogo tipa /O.S. Kochetov: pat. Ros. Federacii na izobr. № 2484864 ot 20.06.2013. [in Russian].
- 7 Ognepregraditel' /F.S. Shimchuk: pat. Ros. Federacii na izobr. № 2296603 ot 10.04.2007. [in Russian].
- 8 GOST R 51330.1-99 Jelektrooborudovanie vzryvozashhishhennoe. M.: Izd-vo standartov, 2001. Ch. 1. 36 s. [in Russian].
- 9 Strizhevskij I.I., Zakaznov V.F. Promyshlennye ognepregraditeli. M.: Himija, 1974.264 s. [in Russian].
- 10 Smorodova O.V., Hafizov R.V. Sposob ranzhirovanija gazoanaliticheskikh sistem//Simvol nauki. 2016. № 8-2. S. 84-88. [in Russian].

## **Сведения об авторах**

### **About the authors**

Смородова О.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

O.V. Smorodova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Industrial Heat Powering» FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: olga\_smorodova@mail.ru

Китаев С.В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

S.V. Kitaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Transport and Storage of Oil and Gas», FSBEI NE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Сергеева К.В., магистр МБП01-16-01, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

K.V. Segreeva, Master of Science of МБП01-16-01 Group, FSBEI NE USPTU, Ufa, the Russian Federation