

З.В. АНДРУСЯК  
Б.В. БОЛИБРУХ, к.т.н., доцент  
В.Б. ЛОИК, к.т.н.  
И.М. КРАСУТСКАЯ

Проблема создания эффективной  
индивидуальной защиты спасателей  
при авариях на опасных химических объектах

*Analysis of Problems for Effective Personal  
Protection of Rescuers in Case of Accident  
in Dangerous Chemical Facilities*

*Problemy stworzenia skutecznej ochrony  
indywidualnej ratowników podczas awarii  
w obiektach przemysłowych*

В статье проанализированы особенности опасных и вредных факторов при авариях на опасных химических объектах с наличием аммиака. Авторами обосновано, что их опасность характеризуется не только наличием опасных химических веществ, но и низкотемпературными показателями окружающей среды. Проанализированы низкотемпературные (до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) факторы, которые минимизируют срок пребывания спасателя при проведении аварийно-спасательных работ в условиях чрезвычайной ситуации с выбросом (излиянием) аммиака в ограниченном пространстве, что определяется временем защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения и составляет в пределах 20-45 мин. На основании анализа отечественных и зарубежных нормативных документов и научных источников установлены недостатки современных методов и технических средств оценки показателей стойкости к действию низких температур специальных материалов газохимзащитной одежды изолировочного типа, и выявлено, что на сегодняшний день не существует нормативов, которые бы определяли безопасное время пребывания спасателя в условиях действия низких температур.

**Ключевые слова:** газохимзащитная одежда, спасатель, температура, безопасное время.

## Summary

The article analyzes some features of hazardous and harmful factors in accidents at dangerous chemical facilities with the presence of ammonia. The authors prove that their risk is characterized not only by the presence of hazardous chemicals, but also by low-temperature environment. It is analyzed the low (up to  $-40^{\circ}\text{C}$ ) factors that minimize the period of the rescuer's work in an emergency situation with the release (spout) of ammonia in a limited space, which is determined by the protection time of PPE respiratory and vision and it is in within 20-45 minutes. Based on the analysis of domestic and foreign legislative documents and references the authors found out that there are some drawbacks in modern methods and technical tools of evaluating indicators of resistance of special material of gas-chemical-protective suit to low temperatures and detected that nowadays there are no regulations that would determine safe time of rescuer staying at low temperatures condition.

**Keywords:** gas-chemical-protective clothes, rescuer, temperature, safe time

## Streszczenie

W artykule przeanalizowano cechy niebezpiecznych i szkodliwych czynników występujących podczas awarii w obiektach niebezpiecznych chemicznie, gdzie używany jest amoniak. Zdefiniowano, że ich niebezpieczeństwo wynika nie tylko z obecności niebezpiecznych substancji chemicznych, ale również powodowana jest niską temperaturą otaczającego środowiska. Przeprowadzono analizę czynników niskotemperaturowych (do  $-40^{\circ}\text{C}$ ), które skracają czas pobytu ratownika podczas naprawy awarii w warunkach sytuacji nadzwyczajnej z uwalnianiem (wylaniem) amoniaku w ograniczonej przestrzeni.

Na podstawie analizy krajowych i zagranicznych dokumentów prawnych i literatury naukowej zdefiniowano niedociągnięcia metod i środków technicznych dotyczących oszacowania trwałości do działania w niskich temperaturach specjalnych gazoszczelnych ubrań. Ustalono, że obecnie nie ma przepisów, które wyznaczają bezpieczny czas pracy ratownika w niskich temperaturach.

**Słowa kluczowe:** gazoszczelne ubranie, ratownik, temperatura, bezpieczny czas

## Вступление

В 2014 году в Украине функционировало более 1.5 тыс. объектов промышленности, на которых хранилось или использовалось в производственной деятельности более 300 тыс. тонн опасных химических веществ. В том числе – более 9,0 тыс. тонн хлора, свыше 200 тыс. тонн аммиака и около 100 тыс. тонн других опасных химических веществ [1].

По степеням химической опасности эти объекты распределены на:

- I степени химической опасности - 80 объектов;
- II степени химической опасности - 159 объектов;
- III степени химической опасности - 212 объектов;
- IV степени химической опасности - 642 объектов.

Абсолютное большинство предприятий всех отраслей промышленности, работает на технически устаревшем оборудовании, которое не может обеспечить надежной эксплуатации учреждений, поэтому персонал должен быть оснащен специализированными средствами индивидуальной защиты, которые будут соответствовать нормативным требованиям эксплуатации защитной одежды (ЗО). Наиболее распространенными опасными веществами на предприятиях химической промышленности являются аммиак, хлор, двуокись азота, акрилонитрил, сернистый ангидрид, концентрированная азотная и серная кислоты, метанол, бензол, карбамидо-аммиачные смеси, едкий натрий, формалин и прочее.

Из-за незащищенности персонала в оперативно-спасательных подразделениях Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины возможны катастрофические последствия. Примером стала чрезвычайная ситуация, которая произошла 6 августа 2013 года на Горловском химическом заводе «Стирол». В результате разгерметизации аммиакопровода диаметром 0,15 м рабочее давление 12 атм, отверстие которого составило 0,1 м<sup>2</sup>. Официальной причиной аварии является устарелость технологического оборудования, а именно толщина стенок аммиакопровода из нормативных 5 мм приобрела 0,8 мм. Вследствие аварии погибло 5 человек и 18 госпитализированы в тяжелом состоянии [2].

### 1. Анализ условий ликвидации чрезвычайных ситуаций на аммиачно-холодильных установках

Газохимзащитная одежда (ГХЗО) – специальная одежда, предназначенная для защиты тела пожарного-спасателя от воздействия вредных веществ. Она обеспечивает защиту персонала во время выполнения регламентных, ремонтно-профилактических работ, а также в случае аварийных и послеаварийных работ [3]. По типам конструктивного исполнения ГХЗО разделяют

на герметичную, изоляционную, фильтровальную и негерметичную технологическую. Применение новых материалов, современных технологий проектирования и изготовления позволяет создать ЗО, которая может обеспечить высокий уровень защиты, надежности и комфортности при её эксплуатации. Основные критерии отбора и эксплуатации ГХЗО должны обеспечивать соответствующий микроклимат для спасателя, защиту от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды и не создавать негативных условий для нормальной эксплуатации. При разработке современных систем индивидуальной защиты необходимо учитывать микроклиматические характеристики промышленной среды, основные рабочие движения с учетом положения тела работника, функциональные уровни его деятельности. Это обуславливает необходимость анализа многофакторной модели “Промышленная среда – защитный комплект – процесс и результат деятельности – самочувствие и здоровье работника”.

Защитная одежда (комплект) создает вокруг тела человека микроклимат, который зависит от нескольких факторов: теплового состояния человека, которое обусловлено уровнем энергозатрат и индивидуальными свойствами; параметров микроклимата – температуры, влажности, давления, скорости смены воздуха; свойства одежды – конструкции, физико-механических и гигиенических характеристик материала; условий применения пакета материалов и одежды. В процессе возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) следует учитывать возможные изменения опасных факторов. В зависимости от потенциальных условий обеспечения необходимого уровня защиты принимают решение об использовании того или иного вида ЗО. Срок пребывания в изолированной или герметичной ЗО, которую изготавливают из полимерных материалов, в основном ограничен, ввиду возможного перегревания или переохлаждения человека. Общим изъяном, недостатком полимерных материалов является их незначительная тепло- и воздухопроницаемость. Водяной пар (влага) скапливается на внутренней стороне материала, а потом конденсируется. Образующийся конденсат увлажняет внутренний слой одежды, что резко снижает его теплозащитные свойства и создает у работника чувство дискомфорта.

Параметры внешней среды в помещениях с аммиаком следующие: диапазон температур от  $-37^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , влажность – от 35 до 99%, скорость воздуха, обдувающего человека в костюме, может составлять  $0,05 \div 0,3$  м/сек. Степень тяжести работ, которая учитывает уровень энергетических затрат, а также выделение тепла, колеблется от легких (менее  $150 \text{ Вт}$ ) до предельных ( $350 \div 700 \text{ Вт}$ ), которые могут существовать во время аварийных ситуаций (АС) [4]. Проведение натуральных испытаний одежды для широкого диапазона изменения факторов влияния требует значительных финансовых затрат и времени. Для получения характеристик теплообменных процессов для отдельного вида ЗО количество таких натуральных испытаний может быть близким

до нескольких сотен, поэтому для оценки функциональных возможностей одежды при ЧС целесообразно использовать результаты вычислительного эксперимента.

В момент контакта агрессивной среды и образцов специальных материалов с полимерным покрытием в зависимости от их природы одновременно происходит целый перечень контролируемых и неконтролируемых физико-химических процессов, среди которых наиболее важными являются следующие:

- адсорбция компонентов агрессивного реагента поверхностью полимерного покрытия;
- диффузия в объем (толщину) полимера агрессивной среды;
- диффузия продуктов деструкции с поверхности полимерного образца материала;
- десорбция продуктов деструкции полимера с его поверхности.

В отличие от физических, химически активные реактивы, действующие на образцы материалов, вызывают необратимые явления, которые являются основной причиной изменений их структурно-морфологических показателей (жесткость, разрывные нагрузки, свертывание и т.п.).

Проанализируем условия эксплуатации средств индивидуальной защиты спасателей на основе характеристики аммиака и видов опасности при выполнении задач по назначению.

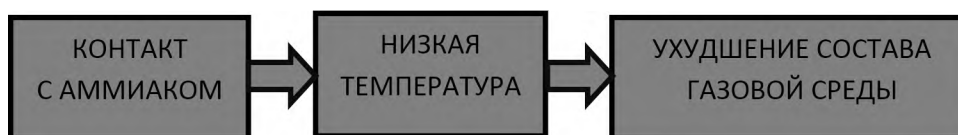
Аммиак – бесцветный газ с резким запахом, легче воздуха, растворяется в воде. Перевозится в разреженном состоянии под давлением. При выходе в атмосферу переходит в газообразное состояние. Пары образуют с воздухом взрывоопасную смесь, а в пустых емкостях возникают взрывоопасные смеси. Горит при наличии постоянного источника огня. Проведенный анализ травматизма работников оперативно-спасательных подразделений ГСЧС Украины за период 2004-2014 годы (табл. 1) указывает, что существует фактор поражения спасателей от воздействия опасных и вредных факторов ядовитых веществ. Так за указанный период получило травмы 58 человек, из них 6 с летальным исходом.

Обеспечение безопасности труда спасателя является актуальным и в настоящее время, поскольку во время проведения аварийно-спасательных работ на защитную одежду действуют опасные факторы (низкая температура, повышенная влажность и агрессивная среда).

Таким образом, обобщив проведенный анализ, нами определены основные опасные факторы при ликвидации ЧС с выбросом (излиянием) аммиака (рис. 1).

**Таблица 1.** Основные факторы травм спасателей при ликвидации ЧС и тушении пожаров [1]

Год	Факторы						
	Обвал строительных конструкций, падение предметов и материалов	Действие экстремальных температур	Падение с высоты	Взрыв емкостей с горючими и взрывоопасными веществами, вспышки горючих и легковоспламеняемых веществ	Поражение электрическим током	Действие отравляющих веществ, газов, продуктов сгорания	Другие
2005	0%	5%	35%	10%	10%	15%	25%
2006	13,60%	9,20%	22,70%	13,60%	4,60%	22,70%	13,60%
2007	14,30%	14,30%	42,80%	14,30%	14,30%	0%	13,60%
2008	27,60%	0%	3,40%	13,80%	0%	41,40%	13,80%
2009	30%	5%	25%	10%	0%	5%	25%
2010	19%	16,40%	8%	2,70%	27%	13,60%	13,30%
2011	10%	5%	15%	30%	0%	15%	25%
2012	14,80%	3,70%	18,50%	7,40%	7,40%	26%	22,20%
2013	15,40%	0%	38,40%	23,10%	0%	0%	23,10%
2014	18,50%	3,70%	14,80%	0%	0%	44,50%	18,50%



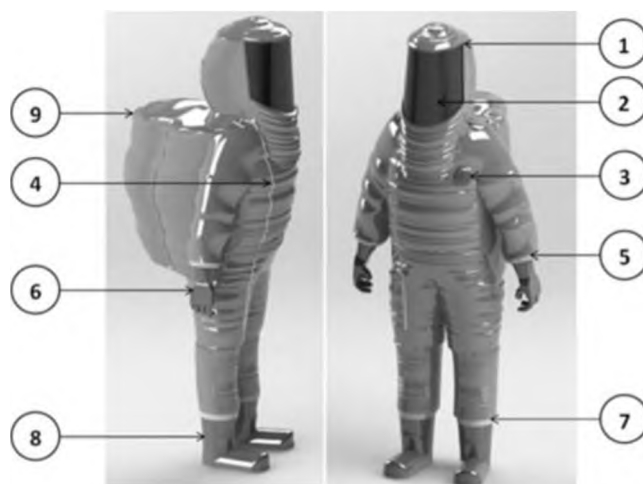
**Рис. 1.** Опасные факторы при ликвидации ЧС с выбросом (излиянием) аммиака [авторская]

## 2. Характеристика опасных и вредных производственных факторов и их влияние на защитные свойства специальной одежды спасателей

Учитывая специфику условий эксплуатации при ликвидации ЧС, к защитной одежде спасателей предъявляются соответствующие требования. Эти требования, условно относящиеся к конструктивному выполнению ЗО и специальных материалов, которые используются для её изготовления.

В зависимости от действия опасных факторов, которые в свою очередь могут очень быстро меняться, а также учитывая то, что защитный период, за который должна обеспечиваться защита, также ограничен, если защитная одежда уже имела предварительную активность температурных факторов

и агрессивной среды, используют такие виды защитной одежды: защитная одежда изолирующего типа (газохимзащитная) [3]. Схема основных элементов конструкции изображена на рис. 2.

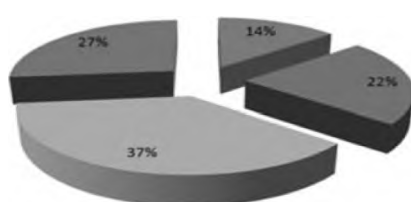


**Рис. 2.** Схема строения газохимзащитной одежды (изолирующего или капсульного типа) [авторская]:

1 – обтюратор, уплотнительная манжета для смотрового стекла; 2 – смотровое (панорамное) стекло; 3 – выводной клапан; 4 – лаз, замок-молния газонепроницаемая, обеспечивает герметичность костюма; 5 – крепления перчаток с костюмом, герметичное; 6 – сменные рукавицы, газонепроницаемые; 7 – крепление сапог с костюмом, герметичное; 8 – сапоги газонепроницаемые, сменные; 9 – дыхательный аппарат на сжатом воздухе (под костюмом)

Газохимзащитная одежда, в свою очередь, распределяется по трём уровням [7].

С целью объективной оценки состояния обеспеченности спасательных подразделений нами проведен анализ средств индивидуальной защиты, которые находятся на оснащении и пригодны для ликвидации ЧС с наличием аммиака. Результаты аналитических исследований приведены на рис. 3.



22 % – ГХЗО зарубежного производства  
27 % – Общевоинский защитный костюм  
37 % – ОЗК «Л-1»  
14 % – Другие

**Рис. 3.** Состояние обеспеченности одеждой оперативно-спасательных подразделений [авторская]

Исследования проводились в Львовской, Ровенской, Хмельницкой и Киевской областях. Эффективность защитных свойств и надежность газохимзащитной одежды оценивается ее качеством и техническим уровнем, которые должны определяться как на стадии разработки, так и во время эксплуатации. Проанализировав зарубежные и отечественные нормативные документы [5,7], которые определяют требования к газохимзащитной одежде пожарного, мы разделяем эти требования на две основные группы:

- требования к теплофизическим показателям;
- требования к физико-механическим показателям.

Согласно с этими требованиями, исходными показателями этих групп являются следующие свойства теплозащитной одежды пожарного:

- требования к конструкциям;
- теплофизические показатели:
  - устойчивость к повышенной температуре;
  - устойчивость к низким температурам;
  - устойчивость к открытому пламени;
  - устойчивость к проникновению агрессивных веществ;
- физико-механические показатели:
  - разрывная нагрузка;
  - раПри-міткиздирающа нагрузка;
  - прочность швов;
  - усадка после нагревания;
  - устойчивость к многократному нагреванию;
  - морозостойкость;
  - водопроницаемость;
  - устойчивость к действию аммиака;
- эксплуатационные показатели:
  - показатель надежности;
  - показатель эргономики;
  - физиолого-гигиенические.
- требования к маркировке, упаковке, транспортирование и хранение.

Отечественного нормативного документа, по определению методов и способов оценки показателей качества не существует, что в свою очередь приводит к появлению на рынке некачественной продукции.

На данный момент в Украине нет государственных стандартов, где были бы указаны нормы, которым должны соответствовать защитные костюмы, не предоставляется и информация о времени защитного действия, которое они должны обеспечивать.



### 3. Анализ условий эксплуатации газохимзащитной одежды спасателя

К работам, которые выполняют спасатели при ликвидации и локализации чрезвычайных ситуаций (ЧС) с выбросом или утечкой аммиака, можно отнести: тушение пожаров, ликвидацию последствий взрывов, выбросов и разливов ядовитого вещества, выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ [6].

Поэтому для проведения вышеуказанных задач по назначению спасатель должен быть надежно защищен. А проведенный анализ характеристик средств индивидуальной защиты, применяемых в настоящее время в Украине, указывает, что основной причиной несоответствия изолирующих костюмов, согласно условиям труда, являются недостаточные физико-механические свойства специальных материалов и комплектующих деталей для их изготовления. Это несоответствие проявляется особенно тогда, когда поверхность изолированного костюма (ИК) подвергается воздействию жидкого и газообразного аммиака и пониженных температур до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

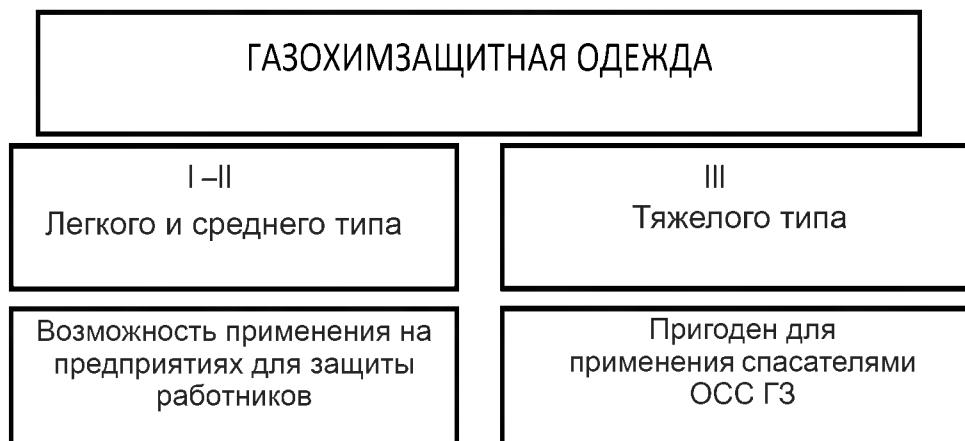


Рис. 4. Классификация газохимзащитной одежды [7]

На сегодняшний день в ГСЧС Украины порядок применения и эксплуатации средств индивидуальной защиты (СИЗ) регламентируется Приказами, которые носят рекомендательный характер [8-9].

Проведя анализ условий выполнения аварийно-спасательных работ с учетом степеней тяжести, определен перечень работ, которые классифицируются на соответствующие степени (табл. 2.).

Поскольку работа в ГХЗО предусматривает использование средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) и зрения [6], самый низкий

степень тяжести при ликвидации ЧС с утечкой (разливом) аммиака составит «средний».

**Таблица 2.** Распределение аварийно-спасательных работ по степени тяжести для спасателя [8]

Легкие	Средние	Тяжелые
Выполнение мероприятий по радиационному и химическому контролю.	Погрузочно-разгрузочные работы при помощи машин и механизмов.	Монтаж и демонтаж крупных узлов, технологического оборудования во время выполнения работ в СИЗ
Проведение радиационной и химической разведки на технике.	Проведение радиационной и химической разведки в первом порядке.	Тушение пожаров, проведение аварийно- (поисково-) спасательных и аварийно-восстановительных работ
Наблюдение за радиационной и химической обстановкой при помощи приспособлений.	Приготовление растворов для проведения обеззараживания (специальной обработки).	Установка аварийных накладок (бандажей), хомутов, заглушек в местах прорыва емкостей и трубопроводов.
Осмотр оборудования.	Проведение работ по обеззараживанию (дегазация, дезактивация )	Разборка завалов.
		Перекачивание жидкостей с помощью ручных насосов.
		Подъем по ступеням.

Так, рекомендуемое время выполнения заданий по назначению в средствах индивидуальной защиты приведено в табл. 3. (с использованием СИЗОД) и рекомендуемым временем работы в табл. 4.

**Таблица 3.** Предельно-допустимое время пребывания личного состава с учетом режимов нагрузки и использования СИЗОД [8]

СИЗ	Гранично-допустимое время пребывания личного состава при использовании СИЗОД, час. Степень физической нагрузки		
	Легкая	Средняя	Тяжелая
СИЗОД	3	1,25	0,66
СИЗОД+ИЗО	3	1	0,5

Следовательно, в соответствии с табл. 1.3 и 1.4, время защиты спасателей при температуре окружающей среды  $-40^{\circ}\text{C}$ , составляет от 30 мин до 7 ч, что противоречит аспектам медико-биологических особенностей организма человека [4].

**Таблица 4.** Гранично-допустимое время пребывания личного состава с учетом температурных режимов окружающей среды [8]

СИЗ	Гранично-допустимое время пребывания личного состава в СИЗ при скорости 2 м/с что регламентируется тепловым состоянием организма для исключения возможного общего переохлаждения, час									
	Температура воздуха, °С									
	От -40			От -30			От -20		От -10	
	Степень физической нагрузки									
	легкая	средняя	тяжелая	легкая	средняя	тяжелая	легкая	средняя	тяжелая	Средняя тяжелая
Фильтрующий противогаз+ зимняя форма одежды+ защитные чулки и перчатки	0.5	0.7	1.5	0.6	1.2	3.0	0.8	Н/Р	2.8	Н/Р
Фильтрующий противогаз + зимняя форма одежды	0.6	1.5	4.0	0.8	4.0	Н/Р	1.2	Н/Р		
Фильтрующий противогаз+ИЗО	1.0	7.0	Н/Р	1.7	Н/Р		2.8	Н/Р		

Учитывая результаты аналитических исследований, которые приведены в п 1. с учетом «Правил безопасности труда в оперативно-спасательных подразделениях [9], определены факторы, влияющие на безопасное время эксплуатации ГХЗО и являющиеся решающими при определении критериев оценки показателей качества (рис. 5).

Проанализированы низкотемпературные факторы, которые минимизируют срок пребывания спасателя при проведении аварийно-спасательных работ в условиях чрезвычайной ситуации с выбросом (излиянием) аммиака в ограниченном пространстве, что определяется временем защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения и составляет в пределах 20-45 мин. Проанализированы особенности параметров,

характеризующих функциональность ГХЗО, а также параметры соответствующего базового комплекта средств индивидуальной защиты, которые отвечают условиям эффективного применения при авариях с выбросом (излиянием) аммиака при достижении температуры комфорта микроклимата ( $T_{КОМ} = 18^{\circ}\text{C}$ ) подкостюмного пространства между спасателем и средствами индивидуальной защиты. Данный показатель будем характеризовать как индекс морозоустойчивости ( $I_{защ}^M$ ) с определенными граничными показателями которые определяют режимы работы и в дальнейшем минимизируют травмирование спасателей.



Рис. 5. Факторы определения безопасного времени эксплуатации ГХЗО [авторская]

### 3. Анализ современных методов и средств оценки показателей качества газохимзащитной одежды

Пакет специальных материалов защитной одежды для защиты от химически опасных веществ предотвращает попадание агрессивной среды на тело спасателя.

Определение уровней эксплуатационных свойств и исследование показателей качества пакета материалов является первым и важнейшим этапом лабораторных исследований, которые проводятся для оценки ГХЗО. Эта категория испытаний предусматривает исследования, начиная от материала верха и заканчивая полномасштабным полигонным испытанием. Анализом методов определения показателей качества установлены этапы их оценки, которые отражены на рис. 6.

Первым и обязательным этапом создания защитной одежды спасателя от опасных химических веществ являются лабораторные исследования, а 3-й и 4-й этапы в Украине не являются обязательными.

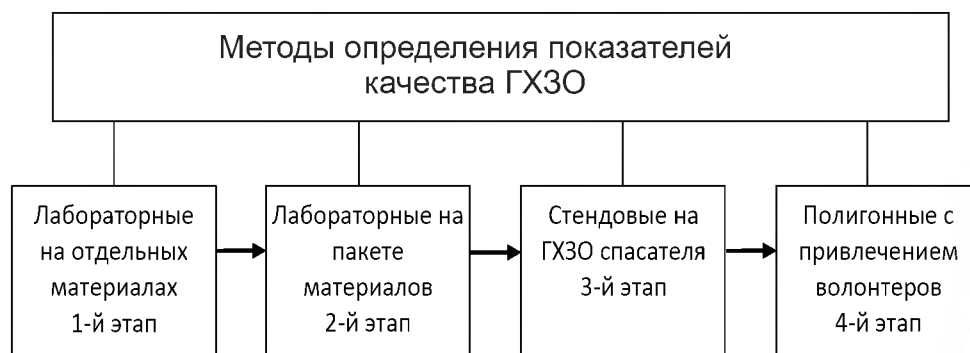


Рис. 6. Этапы определения показателей качества ГХЗО спасателя [авторская]

Вследствие большого количества существующих средств индивидуальной защиты, подробно рассмотреть, проанализировать и определить наиболее пригодные для использования в условиях пожаров с наличием газообразного аммиака является достаточно сложной задачей.

Характеристики защитных костюмов химической защиты отечественного и зарубежного производства приведены в табл. 5.

Таблица 5. Защитные костюмы для работы с химически-опасными веществами (в том числе аммиак) отечественного и зарубежного производства

№ п/п	Наименование	Назначение
1	ИЗК-1 «Рятувальник»	Костюм защитный, от газообразного и локального облива жидким аммиаком, хлором, минеральными кислотами любых концентраций и другими химическими веществами. Масса – не более 5,0 кг.
2	ИЗК-2 «Рятувальник-2У»	Костюм защитный облегченный, от воздействия высококонцентрированных газообразных хлора и аммиака, окислов азота, минеральных кислот, а также кратковременного воздействия жидких хлора и аммиака (при аварийном выходе из зоны заражения). Масса – 4,0 кг.
3	«Трелкемсупер 162-02»	Костюм защитный для защиты с аварийно-химическими опасными веществами в жидком, парообразном, аэрозольном и газообразном видах.
4	Vautex SL-S MSA AUER	Костюм защитный от высококонцентрированных химикатов, с широкой областью применения. Масса – 6,75 кг.

Следует отметить, что эти костюмы не предназначены для работы в условиях повышенных температур и как следствие не защищают от лучевого тепла.

На химических предприятиях Европы для проведения работ по ликвидации и локализации ЧС, связанных с выбросом, образованием и распространением опасных химических веществ (ОХВ), в качестве специального материала для изготовления защитных костюмов используется полиамидная ткань с одно- или двухсторонним полимерным покрытием (поливинилхлоридное, бутиловое, «витон» и другие). Костюмы отличаются высокой технологией изготовления, наличием герметичной тесьмы-молнии, надежной герметизацией швов (метод вулканизации), эстетичностью, что дает им возможность быть конкурентоспособными.

Сущность метода заключалась в контролировании изменения таких характеристик образца материала, как коэффициент паропроницаемости  $Ph$  [мг/м<sup>2</sup>с], коэффициент воздухопроницаемости  $B$  [дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с] после его обработки в криокамере в режиме “замораживание-размораживание”.

Согласно условиям проведения эксперимента, замораживание образцов длилось от одного до восьми часов с интервалом в один час, а их размораживание проводилось в течение одного часа. Для эксперимента были взяты образцы с полимерным покрытием (образец А, образец Б и ткань “Шторм”). Контроль над процессом изменения коэффициента паропроницаемости, по сравнению с исходным значением образца, проводили гравиметрическим методом.

Относительно коэффициента воздухопроницаемости необходимо было разрабатывать метод и оборудование. Полученные результаты подтверждают концепцию о необходимости изучения морозостойкости образца специальных материалов с полимерным покрытием в статических условиях с использованием в данном случае таких критериев оценки, как коэффициенты воздухо- и паропроницаемости, поскольку их значение зависит от природы полимера ( $K$ ), времени экспозиции ( $t$ ) и температуры ( $T$ ), то есть:

$$Mc = f(K, t, T), \quad (1)$$

В этой зависимости (1) природа полимера  $K$ , может быть охарактеризована температурой принуждения  $T_c$  и температурой хрупкости  $T_{кр}$ . Если полимерное покрытие стекловидное, как, например поливинилхлорид (ПВХ), то материал рекомендуется эксплуатировать в температурном интервале принудительной эластичности, которая определяется разностью:

$$\varepsilon_{пр} = T_c - T_{кр} \quad (2)$$

Если в формулу (1) подставить значения температурных характеристик ПВХ, для которого  $T_c = 81^\circ\text{C}$ , а  $T_{кр} = -90^\circ\text{C}$ , то  $\varepsilon_{пр} = 171^\circ\text{C}$ , то есть указанный полимер, лучше использовать в области высоких температур, величина которых не превышает  $171^\circ\text{C}$ , что и подтверждают результаты исследований.

Анализ информации многих источников, связанных с уровнем защиты специальной одежды, показывает, что такие понятия, как выносливость и долговечность материалов, были применены металловедом, позже полимерниками, а в середине прошлого века, традиционно использовались материаловедами.

Указанные показатели должны образовывать комплекс характеристик конкретного материала, с учетом результатов полуциклических, одно – и многоциклических исследований в процессе таких деформаций, как, например, растяжения или других по отношению к воздействию опасных факторов. Поэтому износостойкость элементарного образца или изделия должна характеризоваться не числовым значением, а коэффициентом износостойкости, учитывая условия эксплуатации и физико-механические и химически опасные факторы, а также время их воздействия.

Если сказанное принять за основу, то становится очевидным, что износостойкостью является не что иное, как потенциальная способность специального материала обеспечить технико-эксплуатационные и защитные свойства защитной одежды пожарных в зависимости от продолжительности действия опасных факторов. При этом также необходимо отметить, что износостойкость специальных материалов желательно изучать в динамике, с учетом деформаций различного типа (растяжения, изгиба и т. п), их класса (полуциклических, одно - и многоциклические), групп (одно-и многоосные), а также подкласса (разрывные и неразрывные).

Таким образом, если „выносливость” заменить на „износостойкость” (и не только терминологически) а „предел износостойкости” исключить, то долговечность элементарного образца – это время его разрушение при заданных условиях и напряжениях, но в статистических условиях. То есть указанная характеристика, особенно при проведении нашего эксперимента, полностью соответствует классу „полуциклических” и разрывных (подкласс), поскольку дополняет свойства образца материалов по их химустойчивости. Так, при изучении влияния агрессивных сред на физико-химические свойства специальных материалов для ГХЗО была замечена их деформация и изменение величины механических по сравнению с исходными, или существенных изменений не происходит, несмотря на фактическое разрушение образца.

Таким образом, вопросы, связанные с обоснованным выбором методик для оценки термостойкости специальных текстильных материалов с обязательным учетом действующих и возможных опасных факторов, чрезвычайно важны и могут быть решены с помощью дефектной и молекулярно-кинетической теории прочности, то есть долговечности, которая характеризуется напряжением (об этом было сказано ранее) и временем, необходимым для их разрушения, начиная от момента приложения усилия. Если долговечность материала воспринимать в классической ее трактовке, то она, очевидно, не является многоцикловой характеристикой деформации растяжения.

Известно, что прочность образца, например, материала – это способность выдерживать прилагаемое усилие, не разрушаясь, хотя на практике – это величина нагрузки, которая его разрушила. Поэтому усилие (критическое по абсолютному значению), или нагрузку, которая мгновенно разрушила полосу материала заданной ширины (это как правило, 50 мм), называют разрывным усилием или разрывной нагрузкой. Если образец дополнительно контролируется и по толщине, то показатель, который его определяет (разрывное усилие, или разрывная нагрузка, которые приходятся на единицу площади поперечного сечения образца), характеризуется разрывным напряжением:

$$G_p = \frac{P_p}{S}, \quad [\text{Н/м}^2] \quad (3)$$

где:  $P_p$  – разрывное усилие нагрузки,  $H$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .

Кроме этого, на основании результатов достаточного количества экспериментов было установлено, что образцы материалов могут разрушаться не только тогда, когда напряжение достигает своего предельно-критического значения, но и при значительно меньших его величинах. Это значит, что величина сопротивления разрыва зависит от времени действия приложенного усилия, то есть время от момента приложения силы в статических условиях до момента разрушения образца и называется долговечностью.

Температурно-временная зависимость прочности, в основном полимеров, была детально изучена проф. Журковым С. М. с коллегами [12]. Она может быть представлена следующим уравнением:

$$t = t_0 e^{\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}}, \quad [\text{с}] \quad (4)$$

где:  $t$  – время разрушения образца, то есть его долговечность под действием некоторого напряжения в статических условиях, с;  $\sigma$  – приложенное напряжение,  $\text{МПа}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $t_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  – константы, характеризующие вид материала.

Зависимость логарифма долговечности от напряжения выражается прямой линией, которая описывается уравнением

$$t = A e^{-\alpha\sigma}, \quad (5)$$

где:  $A$  – постоянная величина, которая зависит от природы материала;  $\sigma$  – приложенное напряжение,  $\text{МПа}$ .



Таким образом, долговечность материала зависит от величины приложенного напряжения и указанная зависимость  $lgt = \varphi(\sigma)$  является линейной. Такой характер зависимости долговечности от напряжения наблюдается в широком температурном интервале и чем температура ниже, тем больше тангенс угла наклона и тем больше по значению  $A$  и  $e$  для данного материала.

Если принять во внимание условия изучения долговечности, а именно постоянное значение величины напряжения и его влияние в статике, то использовалось оборудование – разрывная машина РТ-250. Кроме этого, долговечность материала планируется изучать одновременно с прохождением деструктивных процессов под влиянием высоких температур, что даст возможность обоснованно оценить устойчивость защитной одежды пожарного в высокотемпературных факторах. Поэтому для выполнения поставленной задачи была разработана классификация необходимых экспериментальных характеристик свойств образцов с целью оценки их защитных свойств. Так, например, согласно проведенному анализу [65] установлено, что костюм «АКВАРЕКС» (концерн «Треллеборг», Швеция) одевается поверх костюма «ТРЕЛКЕМ» и защищает спасателя от теплового излучения при работе в особо сложных условиях. Костюм изолирующего типа нового поколения «Трелкем Супер 162-02» предназначен для личного состава спасательных и пожарных частей от контакта с химически опасными веществами (ХОВ). Скафандровый аппарат для защиты органов дыхания одевается под костюм. Полностью герметичен за счет применения газонепроницаемой застежки (замок-молния). Костюм концерна «Треллеборг», «RINBA 180 GV-F» применяется при высоких концентрациях химических веществ. Изготавливается из полиамида, который покрыт снаружи витонем, а внутри, бутил-неопреном. Швы сшитые, герметизированы снаружи и проклеены изнутри. Шлем, аппарат для защиты органов дыхания одеваются под костюм.

Рассмотренная разработка указанной методики характеризуется определением показателей качества специального материала ГХЗО, поскольку обусловлена анализом результатов по степени функциональной надежности ИК, полученных непосредственно в экстремальных условиях. Это означает, что изделие, изготовленное из химически стойких и непроницаемых специальных материалов, комплектующих узлов и деталей, может быть для определения негерметичным к воздействию агрессивной среды. Практика показала, что на степень герметичности влияют не только результаты научных исследований, связанные с оценкой защитных свойств деталей и технологических узлов, но и качество их сборки. Если учесть, что технологический процесс изготовления ИК не автоматизирован и не достаточно механизирован (из-за специфики функционального назначения изделия, которая ведёт к увеличению доли ручного труда), то его проверка на герметичность должна быть обязательной. Кроме того, на стадии проведения научно-исследовательской работы по созданию ИК, такой этап, как опытное ношение отсутствует по причине того, что

аварийная ситуация на химическом предприятии носит случайный характер и по времени и по масштабам, а ее моделирование является дорогостоящим мероприятием с непредсказуемыми последствиями. Поэтому исследование готового изделия с целью изучения его герметичности, уточнение и корректировка конструкции и прочее проводятся в три этапа.

Первый этап, который по своей значимости в подтверждение принятой концепции исследователя, правильности выбора существующих или разработки новых методологических основ для изучения защитных свойств специальных материалов можно назвать, основополагающим, проводится на базе организации-разработчика ИК и относится к лабораторным исследованиям. Для проведения лабораторных исследований применяется, в основном, герметичный бокс, оборудованный надлежащим образом (наличие холодной и горячей воды, душевая установка, вентиляция, общий и специальный слив и прочее).

На этапе лабораторных исследований разработчики ГХЗО (конструкторы, технологи, специалисты, которые создают комплектующие детали) определяют недостатки и корректируют свои программы для дальнейшей работы.

Второй этап исследований готового ГХЗО – стендовый – более сложный и ответственный. Он может проводиться как на базе организации-разработчика, так и на базе заказчика. Сложность и ответственность этого процесса обусловливается применением конкретной агрессивной среды, для защитной, которой разрабатывается ГХЗО. Поэтому при проведении этих исследований необходимо разработать программу экологической защиты и безопасности исследователей.

Сущность стендовых исследований сводится к контролю подкостюмного воздушного пространства на предмет выявления опасной агрессивной среды в заданном изделием объеме на протяжении определенного времени. Если за это время вещество не обнаружено или его количество не соответствует предельно-допустимой концентрации в подкостюмном воздушном пространстве, изделие допускается к следующему этапу исследований.

Следующим, конечным и очень серьезным этапом исследований, поскольку проводится при помощи добровольцев-испытателей, есть полигонный (или полевой).

Сущность его раньше заключалась в том, что изделие одевалось на человека, который заходил в зараженную зону. Через определенное время исследователь покидал зону и по его словам специальная комиссия делала вывод о пригодности ГХЗО. Если же изделие, по мнению исследователя, являлось (или в будущем могло быть) негерметичным, оно не получало сертификат на производство.

Таким образом очевидно, что на всех трех стадиях исследования готового изделия, благодаря контролю только подкостюмного-воздушного пространства, которое равно, в среднем, 220 дм<sup>3</sup>, практически невозможно оценить

по защитным свойствам отдельно СИЗ рук и ног, технологические узлы и комплектующие их детали, места их крепления, а также герметизацию ИК в целом.

Аналогичный вывод можно сделать и о практике проведения полевых исследований, особенно о форме принятия комиссией окончательного решения только на основании слов и самочувствия исследователя, что является субъективным и недостаточно обоснованным.

Для повышения надежности контроля герметичности ИК на всех этапах его испытания, а также для локального определения разгерметизации изделия и установления причины, авторы данной работы совместно с сотрудниками лаборатории защитной одежды предложили новый методологический подход к решению проблемы. Сущность его заключается в том, что при лабораторных и стендовых исследованиях на манекен, а при полигонных исследованиях – на волонтера, одевается индикаторный хлопчатобумажный костюм, рукавицы, носки и шлем, поверх которых одевается испытуемая ГХЗО. Кроме того, при проведении лабораторных и стендовых исследований до нижней и верхней области изделия по схеме, которая раньше применялась, подключается необходимая аппаратура для проведения постоянного контроля подкостюмного пространства. Манекен помещают в специальную камеру (или бокс), где его обрабатывают модельным веществом (в случае лабораторных исследований) или конкретной агрессивной средой, например, жидким аммиаком (хлором), в случае стендовых исследований, а волонтер заходит в опасную зону

По истечению заданного времени контакта с модельной или агрессивной средой ГХЗО снимают и проводят визуальный осмотр индикаторного комплекта одежды, отмечая по закрашенным (или освещенным) местам локальные участки негерметичности изделия.

Таким образом, по результатам анализа воздуха подкостюмного пространства, а также индикаторного комплекта, исследователь может сделать обоснованные выводы и заключение о степени герметичности не только изделия в целом, но и деталей его составляющих.

Обработка хлопкового комплекта для предоставления ему индикаторных свойств по отношению к аммиаку (хлору) может быть проведена раствором, что содержит следующие соотношения компонентов, мас. %:

- Крахмал 0,5-1,0;
- Йодистый калий 5,0-9,0;
- Глицерин 15,0-20,0;
- Калий фосфорнокислый однозаменимый 0,05-0,15;
- Натрий фосфорнокислый двухзаменимый 0,05-0,15;
- Вода остальное.

Кроме указанной рецептуры, был разработан и другой состав индикаторного раствора, с помощью которого можно определить локальное проникновение газообразного и жидкого хлора в процессе исследования ГХЗО. Для

повышения надежности контроля изделия в качестве влагоудерживающего компонента применяется кальций хлористый, а индикаторный раствор содержит следующие компоненты при их соотношении, мас. %:

- Калий йодистый 2,5-5,0;
- Кальций хлористый 10,0-20,0;
- Вода остальное.

Герметичность ИК к воздействию газообразного и жидкого аммиака также проводится в три этапа (лабораторный, стендовый, полигонный) с применением индикаторного белья

Индикаторный состав для определения аммиака, содержащий собственно индикатор, наполнитель, регулятор РФ и воду, отличается тем, что с целью повышения точности при проведении исследования в качестве индикатора он содержит сульфат меди, в качестве наполнителя – хлорид магния, в качестве регулятора  $pH$  – карбонат калия, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- Сульфат меди 6,0-17,0;
- Хлорид магния 22,0-45,0;
- Карбонат калия 0,025-0,15.
- Вода остальное.

Ранее было указано, что лабораторные и стендовые исследования ГХЗО необходимо проводить или в герметичных боксах, или в специальных герметичных камерах. Но поскольку при проведении стендовых исследований, в отличие от лабораторных, применяется конкретное вещество, что увеличивает степень опасности (а как следствие и ответственности), то аппаратура и оборудование, которые применяются, должны иметь повышенную надежность, двойную или тройную дублирующие системы, а также отвечать специальным требованиям.

Герметичная камера «Аммиак-1», изготовленная и смонтированная на базе ПО «Азот» (г. Северодонецк, Луганская область), состоит из каркаса 1, исследовательской камеры 2 с герметичной крышкой 3 и решетчатой площадкой 4, манекена 5 с индикаторным комплектом и ГХЗО 6, распылителя 7, соединенного разъемами 8 с трубопроводами 9 для подачи агрессивной среды, инертного газа и нейтрализующего раствора, оснащенные запорными вентилями 10, емкости 11 с нейтрализующим раствором 12, насоса 13, распылителя 14, отводящего трубопровода 15, штуцеров 16, микро компрессора 17, индикатора 18 и измерителя времени 19 (рис. 7).

Однако есть и некоторые особенности, сущность которых сводится к тому, что перед и после исследования камеру и внутренний объем костюма продувают инертным газом: в первом случае – для получения «нулевого фона» по воздуху для настройки контролируемых устройств, а во втором – для удаления агрессивной среды из зоны исследования. Кроме того, непрерывное воздействие агрессивной среды на ГХЗО на протяжении данного времени

обеспечивает постоянный контакт изделия одновременно с газовой и жидкой фазой, например, аммиака, так как при нормальных атмосферных условиях он быстро испаряется, что обеспечивает проведение исследований в условиях, максимально приближенных к аварийным.

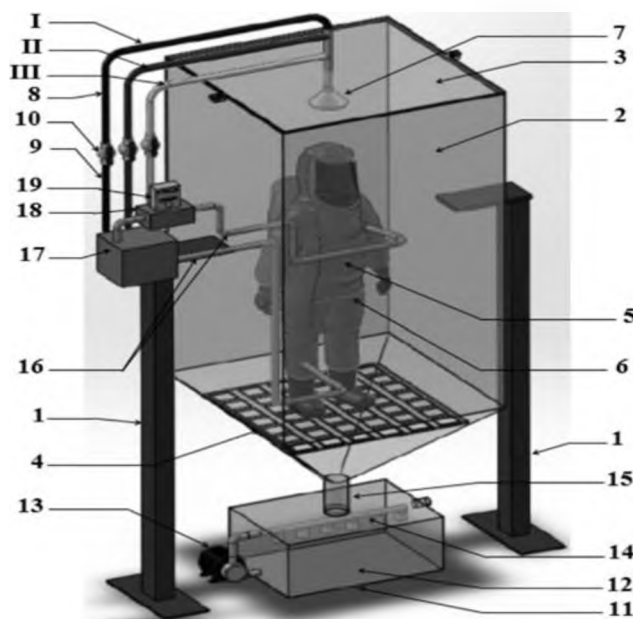


Рис. 7. Герметичная камера «Аммиак-1» [авторская]

Выведение из камеры 2 остатка агрессивной среды одновременно с обработкой ГХЗО обеспечивает поддержание давления паров постоянным и равным атмосферному, так как интенсивное испарение аммиака в закрытом объеме вызывает резкое его увеличение, что может привести к принудительному их проникновению в под костюмное пространство.

Обработка ГХЗО после исследования дегазирующим раствором необходима для удаления агрессивной среды, сорбированной поверхностью материала, с целью предотвращения «ложного» срабатывания индикаторной оболочки при герметизации костюма после окончания опыта.

Таким образом, способ позволяет контролировать качество изготовления не только ИК в целом, но и изучить влияние технологии соединения комплектующих деталей, узлов, швов, герметизирующих материалов на его защитные свойства не только по отношению к жидкому и газообразному аммиаку, но и к другим агрессивным средам.

Предложенные методы и устройства по определению герметичности ИК к воздействию агрессивных сред проводятся в статических условиях. Однако практика изготовления, а особенно оценка готовых изделий, показали, что

некоторые ситуации, связанные с опасностью вещества в первую очередь, требуют повышенных требований к степени надежности ГХЗО.

Эти требования заказчика и обуславливают повышение требований к проведению исследований, начиная от стадии научных разработок и определение герметичности готового изделия. Одной из таких работ является изучение степени герметичности ГХЗО в динамических условиях в процессе непрерывного воздействия жидкого аммиака. Цель данного исследования – определить устойчивость к сгибанию ГХЗО и всех его деталей при низких температурах, образующиеся в процессе испарения агрессивной среды с одновременным его химическим воздействием.

Указанные исследования можно провести с помощью специальной камеры «Универсал-М». Камера содержит каркас 1 и собственно исследовательскую камеру 2 с герметичной крышкой 3 и решетчатой площадкой 4, шаблон в виде манекена 5 с индикаторным комплектом и ГХЗО 6, подвижные 7 и неподвижные опоры 8 для фиксации манекена с костюмом, распылитель 9, соединенный разъемами 10 с трубопроводами 11 для подачи агрессивной среды, азота и дегазирующего раствора, оснащенным вентилями 12, емкость 13 с нейтрализующим раствором 14, насос 15, распылитель 16 нейтрализующего раствора, отводящий трубопровод 17, штуцера 18, микрокомпрессор 19, индикаторное средство 20 и измеритель времени 21 (рис. 8).

Способ определения герметичности ГХЗО в динамических условиях осуществляется следующим образом.

Манекен 5 с нанесенной на него индикаторной оболочкой и изолирующим костюмом 6 размещают в опытной камере 2, закрепляют его фиксаторами в области стоп и плечевого пояса на подвижных опорах 7, по линии талии вместе с запястьями рук – на неподвижной опоре 8 и подсоединяют к штуцерам 18. камеру 2 закрывают герметичной крышкой 3 и распылитель 9 с помощью разъемов 10 подсоединяют трубопроводы 11. в емкости 13 с помощью насоса 15 включают циркуляцию нейтрализующего раствора 14 через распылитель 16. С помощью сервопривода и блока управления (не показаны) осуществляют сближение опор 7 с неподвижной опорой 8, для чего приводят в возвратно-поступательное движение подвижные опоры 7, установив блока управления заданное расстояние между опорами 7 и 8 и частоту их сближения.

По одному из трубопроводов 11 через распылитель 9 подают жидкий аммиак, одновременно с этим включают измеритель времени 21 и микро компрессор 19.

Жидкий аммиак после обработки ГХЗО поступает по отводному трубопроводу 17 в емкость 13 для нейтрализации раствором 14.

В случае не герметичности ГХЗО индикаторное средство 20 меняет цвет, в результате чего измеритель времени 21 останавливается, фиксируя время защитной способности изделий в динамических условиях исследования.

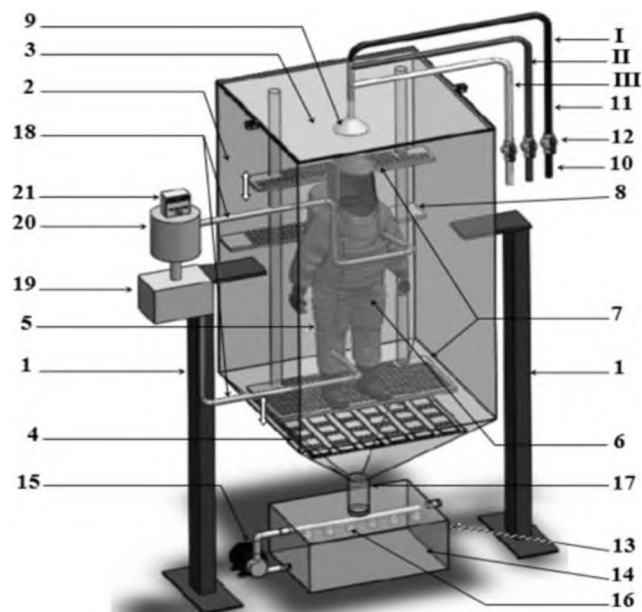


Рис. 8. Герметичная камера «Универсал-М» [авторская]

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования предоставили возможность систематизировать действующие методы оценки показателей качества материалов для газохимзащитной одежды спасателя к воздействию опасных температурных факторов и установить такие основные недостатки, требующие усовершенствования:

- отсутствие обоснованного показателя безопасного времени пребывания в условиях ликвидации ЧС с наличие аммиака в ГХЗО с учетом условий приближенных к эксплуатационным;
- действующие методы испытаний были разработаны с учетом прежних, устаревших требований нормативных документов, которые раньше соответствовали реальным условиям использования ГХЗО с утечкой (выбросом) аммиака, а сейчас не соответствуют требованиям в связи с износом устаревшего оборудования и террористическими актами, которые, как следствие, приводят к возникновению ЧС с источниками низких температур, что значительно усложняет работу спасателя. Поэтому рассмотренные методы испытаний требуют пересмотра на предмет подтверждения или установления безопасного времени эксплуатации с учетом медико-биологических аспектов человека;
- не в полной мере применяются технические средства, которые используются во время проведения испытаний, в частности приемники теплового потока, которыми контролируется достижение предельных показателей при проведении испытаний, а существующие характе-

- ризуються малым класом точности, діапазона измерений и большой погрешностью измерений;
- во время проведения испытаний используется небольшое количество или совсем не используются контактные термопреобразователи, предназначенные для контроля температуры в нескольких точках опытных образцов и не предоставляют информации относительно температурных режимов подкостюмного пространства;
  - невозможность определения поведения специального материала при непосредственном воздействии низких температур до  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
  - существующие технические средства для реализации методов оценивания показателей качества материалов (пакетов) не соответствуют современным инновационным технологиям поскольку оценки защитных характеристик проводит оператор визуально, что не устраняет учета ошибок человеческого фактора.

### Литература

- [1] Национальный доклад о состоянии техногенной и природной безопасности в Украине в 2014 году (в формате PDF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopov2014.html>.
- [2] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [uk.wikipedia.org/wiki/варія\\_в\\_Горлівці\\_2013](http://uk.wikipedia.org/wiki/варія_в_Горлівці_2013).
- [3] ДСТУ2273:2006. Пожарная техника. Термины и определения; действующий с 2007-04-01. – К.: УКРНИИПБ МЧС Украины, 2006. – 44 с.
- [4] Умрюхин Е.А. Медико-биологические аспекты интеллектуальной деятельности. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 34-47 с.
- [5] Болибрух Б.В. Обобщенный анализ приборов по определению термозащитных свойств и исследование долговечности специальных материалов для изготовления защитной одежды пожарных / Болибрух Б.В., Мычко А.А., Штайн Б. В., Андрусак З.В., Ясинский Д.А. // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львов: ЛГУ БЖД, 2006. – № 9. – С. 96-99.
- [6] Устав действий в чрезвычайных ситуациях органов управления и подразделений оперативно-спасательной службы гражданской защиты, утвержденный приказом МЧС от 13.03.2012 № 575.
- [7] Standard: PN EN 14605. Title: Protective clothing against liquid chemicals – Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB and PB ) (includes Amendment A1:2009).
- [8] Методические рекомендации относительно режимов работы в средствах индивидуальной защиты личного состава ОРС ГЗ, утвержденный приказом МЧС от 07.08.2009 № 551.
- [9] Приказ МЧС Украины от 07.05.2007 №312 «Правила безопасности труда в органах и подразделениях МЧС».