

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОТЕРМОСТОЙКОЙ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

PROVISION OF POSITIVE BUOYANCY WHEN DESIGNING WATER-HEAT-RESISTANT CLOTHING FOR SPECIAL PURPOSE

УДК 677.072.6–037.4

В.П. Довыденкова*, В.И. Ольшанский

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-33-46>

V. Davydenkava*, V. Alshanski

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

КОМБИНИРОВАННЫЙ КОСТЮМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ, АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ, ПЛАВАНИЕ, ОСТОЙЧИВОСТЬ, ПОДЪЕМНАЯ СИЛА, ДЕТАЛИ ОДЕЖДЫ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ

С наступлением осенне-весеннего периода для аварийно-спасательных подразделений МЧС РБ особую актуальность приобретают задачи спасения людей на открытых водоемах.

Имеющиеся в наличии костюмы индивидуальной защиты позволяют работникам подразделений МЧС выполнять отдельные виды аварийно-спасательных работ в холодной и горячей воде на глубине до 130 см, опираясь ногами на землю. Спасание обессилевших или потерявших сознание людей на глубине более 130 см в таких костюмах невозможно.

Одним из способов решения данной проблемы является модернизация существующего костюма индивидуальной защиты путем введения во внутренний теплоизолирующий комбинезон элемента положительной плавучести.

В статье приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований положительной плавучести и устойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты, базирующиеся на теории плавания тел. Установлено, что для сохранения собственной плавучести костюма его конструктивное решение должно предусматривать наличие элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена общей площадью не менее 6 359,3 см² при толщине одного слоя 8 мм.

ABSTRACT

COMBINED PERSONAL PROTECTION SUIT, RESCUE OPERATIONS, SWIMMING, STABILITY, LIFTING FORCE, CLOTHING DETAILS, EXPERIMENTAL SAMPLE

With the onset of the autumn-spring period, tasks of rescuing people in open water are of particular urgency for the rescue units of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus.

The available personal protective suits allow rescuers of the Ministry of Emergency Situations to perform certain types of rescue operations in cold and hot water at a depth of up to 130 cm, resting their feet on the ground. Rescue of exhausted or unconscious people at a depth of more than 130 cm in such suits is not possible.

One way to solve this problem is to modernize the existing personal protective suit by introducing a positive buoyancy element into the inner heat-insulating overalls.

The article presents the results of theoretical and experimental studies of positive buoyancy and stability of a combined personal protection suit, based on the theory of body swimming. It has been determined that in order to maintain the suit's own buoyancy, its design should provide for the presence of positive buoyancy elements made of polyethylene foam with a total area of at least 6,359.3 cm² with a single layer thickness of 8 mm.

The preservation of the transverse and longitudinal stability of the combined personal protective suit of the rescuer will be ensured if, when designing it, the placement of elements of positive buoyancy in

* E-mail: davydzenkava@mail.ru (V. Davydenkava)

Сохранение поперечной и продольной устойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты спасателя будет обеспечено, если при его проектировании предусмотрено размещение элементов положительной плавучести в области грудной клетки, плечевого пояса со стороны спины, затылка и предплечий.

Эксплуатационные испытания экспериментального образца, изготовленного с учетом указанных рекомендаций, проведены на базе центра водолазно-спасательной службы ГПАСУ «РОСН». Установлено, что предоставленный модернизированный экспериментальный образец костюма обладает необходимой быстротой надевания, эргономичностью, легкостью, достаточно устойчив к разрывам, обеспечивает положительную плавучесть и безопасность личного состава при проведении работ, связанных со спасением людей на воде (льду), нахождении на открытом воздухе при низкой температуре (письмо от 16.11.2020 № 52/03-06/848).

the chest, shoulder girdle from the back, neck and forearms is provided.

Taking into account the above recommendations operational tests of an experimental model were performed on the basis of the center of the diving and rescue service of the Republican Special Forces. It is found out that the upgraded experimental sample of the suit provided has the necessary speed of putting on, ergonomics, lightness, is sufficiently resistant to tears, provides positive buoyancy and safety of the rescuer during work related to rescuing people on water (ice), being outdoors at low temperature (letter dated November 16, 2020 № 52/03-06/848).

Актуальной проблемой современного общества является защита населения, объектов инфраструктуры и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С наступлением низких температур в осенне-весенний период увеличивается не только количество пожаров, но и возрастает риск гибели людей на водоемах, вероятность аварий на теплотрассах.

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций аварийно-спасательными подразделениями МЧС Беларуси используются отечественные образцы боевой одежды, теплоотражающих и теплозащитных костюмов, костюмов индивидуальной защиты (КИЗ) для работы в воде и химически агрессивных средах. Однако необходимость выполнения широкого круга задач, связанных в том числе со спасением людей в холодной (на льду) и горячей воде обосновывает целесообразность постоянного совершенствования процесса проектирования специальной защитной одежды.

В настоящее время спасение людей на воде (льду) осуществляется водолазно-спасательными службами МЧС Беларуси с использованием

дорогостоящих гидротермокостюмов зарубежного производства. Пожарные аварийно-спасательные части не оснащены костюмами, обеспечивающими безопасность личного состава при необходимости проведения такого рода аварийно-спасательных работ. Существующие КИЗ позволяют работникам подразделений МЧС выполнять отдельные виды аварийно-спасательных работ в холодной и горячей воде на глубине до 130 см, опираясь ногами на землю. Их применение для спасения людей на воде (льду) невозможно.

Вариантом решения данной проблемы, который будет способствовать значительной экономии материальных ресурсов на приобретение узкоспециализированных средств индивидуальной защиты, упрощению процесса комплектования аварийно-спасательной техники и при этом расширению комплекса решаемых тактических задач, является придание существующему варианту КИЗ положительной плавучести и устойчивости.

Поиск возможных конструкторско-технологических решений и разработка усовершенствованного варианта водотермостойкого комбини-

рованного костюма индивидуальной защиты с элементами положительной плавучести проводились по заказу НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ в рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» (задание 3.1.35 «Разработка комбинированного костюма индивидуальной защиты с элементами положительной плавучести»).

Имеющийся в наличии КИЗ является сложным изделием, состоящим из двух комбинезонов: герметичного наружного, блокирующего возможность проникновения воды в подкостюмное пространство, и внутреннего теплоизолирующего, обеспечивающего поддержание температуры подкостюмного пространства в диапазоне 10–50 °С не менее 5 минут [1, 2].

Модернизированный комбинированный костюм индивидуальной защиты спасателя (далее ККИЗ) должен обладать запасом положительной плавучести, позволяющим не только плавать при заданных нагрузках, но и сохранять остойчивость – устойчивое положение лицевой части и органов дыхания человека на поверхности.

Одним из возможных способов обеспечения плавучести модернизированного ККИЗ является введение во внутренний теплоизолирующий комбинезон элемента положительной плавучести (жилета), содержащего в качестве наполнителя вспененный полиэтилен. Данный материал, относящийся к классу газонаполненных термопластичных полимеров, доступен для приобретения на рынке Республики Беларусь, имеет закрыто-пористую структуру, обладает хорошей технологичностью: не вызывает сложностей при раскрое и пошиве изделия. Широкому применению в качестве наполнителя для спасательных гидрокомбинезонов способствуют следующие технические характеристики вспененного полиэтилена: плотность от 20 до 80 кг/м³, паронепроницаемость, температурный режим эксплуатации от –60 °С до +100 °С, крайне низкая способность влагопоглощения (не больше 3,5 % от общего объема утеплителя при контакте с водой в течение месяца), устойчивость к агрессивным веществам, образованию грибка и плесени, отсутствие токсичных веществ и низкий показатель теплопроводности: от 0,038 до 0,039 Вт/(м · К).

Целью данной работы является определение необходимого и достаточного количества вспененного полиэтилена и топографии его размещения в объеме жилета внутреннего теплоизолирующего комбинезона без снижения эргономических показателей модернизированного ККИЗ.

Проведенный анализ требований, установленных существующими техническими нормативными правовыми актами в отношении индивидуальных спасательных средств, позволил установить некоторые нормативные значения показателей плавучести и остойчивости [3]:

- обеспечение положения органов дыхания обессилевшего или потерявшего сознание человека на расстоянии не менее 120 мм от воды так, чтобы тело человека было отклонено назад от его вертикального положения под углом не менее 20°;

- поворот за время не более 5 с тела потерявшего сознание человека в воде из любого положения в такое, при котором его органы дыхания находятся над водой.

Анализ многочисленных литературных источников позволил установить, что защитные костюмы должны иметь собственную плавучесть не менее 70 Н, но использоваться без спасательных жилетов они могут лишь в том случае, если отвечают всем требованиям, предъявляемым к спасательному жилету. Для обеспечения возможности спасения обессилевших или потерявших сознание потерпевших при чрезвычайных ситуациях человека и спасателя нормативное значение собственной плавучести защитного костюма установлено на уровне не менее 100 Н [3, 4].

Для обеспечения указанных требований плавучести существуют различные технические решения, реализованные в том числе в современных гидрокостюмах [5–10].

Следует отметить, что при большой вариативности инженерных решений, патентов в области создания индивидуальных спасательных средств и известных методик проведения спасательных работ не достаточно теоретико-аналитических исследований, отражающих эффективность применения существующих гидрокостюмов в реальных условиях эксплуатации при воздействии гидростатического давления в зависимости от их

конструктивного решения.

Расчеты положительной плавучести достаточно подробно и широко освещены в области судостроения. Научных трудов, в которых бы рассматривались вопросы определения положительной плавучести и остойчивости человека в многослойной одежде, содержащей различного рода утеплители, не установлено.

В силу того, что учесть весь комплекс факторов, действующих на спасателя во время ликвидации чрезвычайных ситуаций в воде, не представляется возможным, при проведении дальнейших теоретических исследований будем рассматривать идеальные условия, при которых не учитывается остаточный объем воздуха, содержащийся в слоях утеплителя теплоизолирующей подкладки после одевания ККИЗ. Остаточный объем воздуха обеспечит дополнительный запас положительной плавучести и компенсирует вес самого костюма.

Анализ основ теории плавания тел [11] показал, что согласно закону Архимеда, спасатель, экипированный в водотермостойкий комбинезон, при погружении в воду будет находиться под действием подъемной силы гидростатического давления, в общем случае направленной

снизу-вверх и равной весу объема вытесненной жидкости.

Гидростатическая подъемная сила, P_z , для тела произвольной формы согласно схеме (рисунок 1) может быть представлена в виде:

$$P_z = Y = \rho g \int_0^S (h_2 - h_1) dS = \rho g V, \quad (1)$$

где Y – гидростатическая подъемная сила (поддерживающая сила или Архимедова сила), H ; ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{Н}/\text{кг}$; S – площадь тела, м^2 ; dS – площадь поперечного сечения элементарного цилиндра, выделенного внутри тела, м^2 ; h_1 , h_2 – глубина погружения верхнего и нижнего оснований цилиндра, м ; p_1 , p_2 – давления, действующие на верхнее и нижнее основания элементарного цилиндра, Н ; V – объем тела, м^3 .

Точка приложения гидростатической подъемной силы – центр давления (точка D). Плавание спасателя в воде определяется величиной двух сил: силы тяжести, G , и гидростатической подъемной силы. Сила тяжести тела приложена в его центре (точка C) и определяется по формуле:

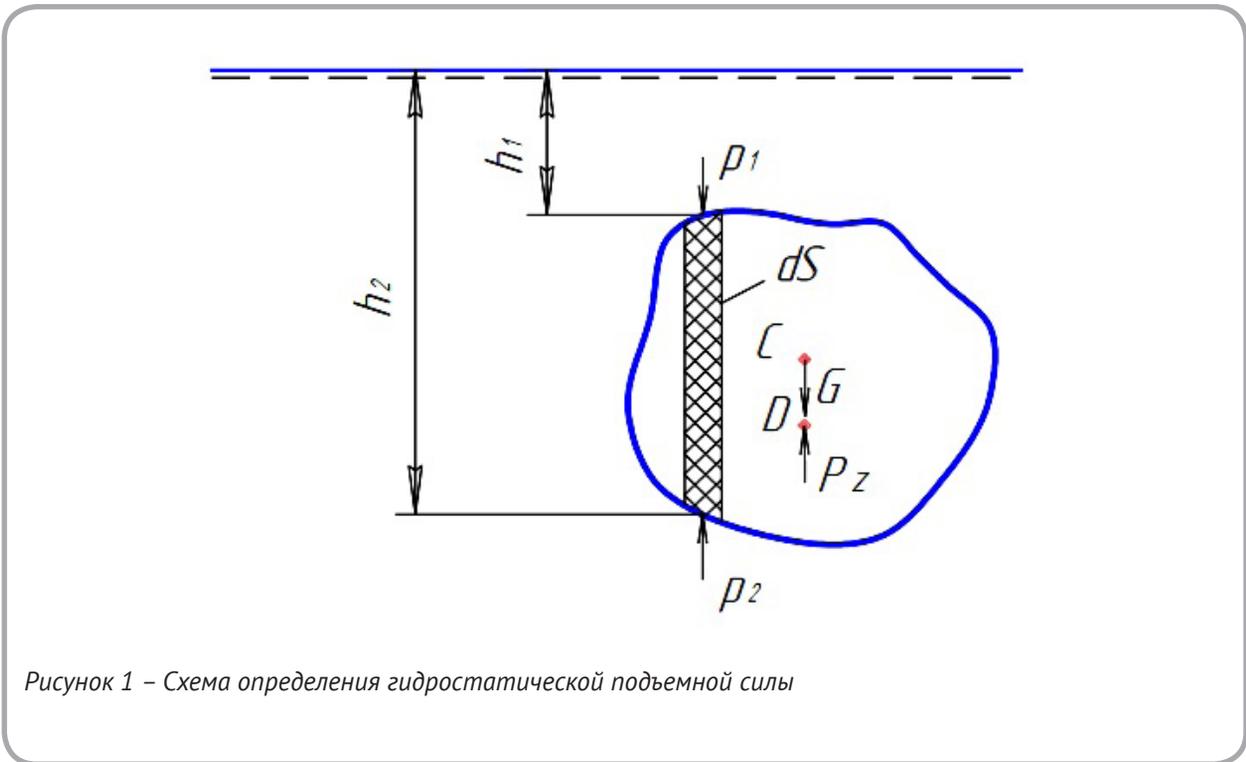


Рисунок 1 – Схема определения гидростатической подъемной силы

$$G = \rho_m g V, \quad (2)$$

где ρ_m – плотность тела, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В зависимости от соотношения величины гидростатической подъемной силы и силы тяжести тело может находиться в трех положениях:

- если гидростатическая подъемная сила больше силы тяжести ($Y > G$), то тело обладает положительной плавучестью и плавает, лишь частично погрузившись в жидкость;
- при равенстве сил ($Y = G$) плавучесть тела нулевая (нейтральная), оно полностью погружено в жидкость и находится в ней во взвешенном состоянии;
- если гидростатическая подъемная сила меньше силы тяжести ($Y < G$), то плавучесть отрицательна и тело тонет.

Центр давления располагается в центре тяжести объема водоизмещения. Условно считается, что подъемная сила P_z приложена в центре давления, то есть в точке D . В общем случае центр тяжести и центр давления не совпадают. Осью плавания является линия, проходящая через центр тяжести тела C и центр давления D и соответствующая нормальному положению тела.

Положительная плавучесть модернизированного ККИЗ будет обеспечена преимущественно за счет наполнителя из вспененного полиэтилена, размещенного в жилете внутреннего теплоизолирующего комбинезона.

Для расчета необходимого объема наполнителя рассмотрим силы, действующие на погруженный в воду фрагмент, состоящий из четырех пластин вспененного полиэтилена, имеющих высоту $h = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, ширину $a = 0,1 \text{ м}$, длину $b = 0,1 \text{ м}$ (рисунок 2). Указанное количество пластин объясняется необходимостью соблюдения требований эргономики, в частности, динамического соответствия. На фрагменте размещен груз весом G_z .

Масса фрагмента определена путем его взвешивания на электронных весах и составляет $11 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.

Воспользовавшись условием сохранения положительной плавучести и зависимостями (1), (2), запишем условие плавания фрагмента на поверхности воды в виде неравенства:

$$G_r + G_0 < P_0 + \rho_{\text{ж}} \Delta V g, \quad (3)$$

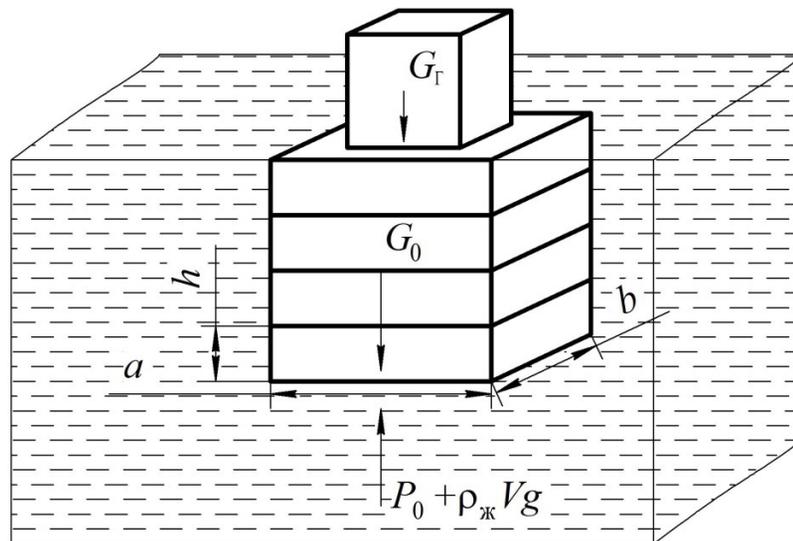


Рисунок 2 – Силы, действующие на плавающий фрагмент вспененного полиэтилена с грузом

где P_0 – гидростатическая подъемная сила (сила Архимеда), действующая на фрагмент вспененного полиэтилена без груза, H ; $\rho_{ж}$ – плотность воды, равная 1000 кг/м^3 ; ΔV – изменение объема подводной части элемента вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м^3 ; G_0 – сила тяжести, обусловленная собственным весом фрагмента вспененного полиэтилена, H , и определяемая по формуле:

$$G_0 = m_0 g, \quad (4)$$

где m_0 – масса фрагмента вспененного полиэтилена, кг .

С учетом выражения (4) и известных соотношений между объемом и площадью преобразованием неравенство (3):

$$m_r g + m_0 g < \rho_{ж} V_0 g + \rho_{ж} S (h_0 - h_1) g, \quad (5)$$

где m_r – масса груза, кг ; V_0 – объем фрагмента вспененного полиэтилена, м^3 ; S – площадь фрагмента подводной части вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м^2 ; $h_0 - h_1$ – изменение высоты подводной части рассматриваемого фрагмента вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м . В случае полного погружения фрагмента вспененного полиэтилена до уровня поверхности воды $h_0 - h_1 = 4h$.

Тогда неравенство (5) можно записать в виде выражения (6):

$$m_r + m_0 < 2\rho_{ж} S 4h. \quad (6)$$

Подставив в выражение (6) исходные данные для расчета, определим массу груза, которую может выдержать фрагмент вспененного полиэтилена установленного размера при полном погружении в воду и сохранении положительной плавучести:

$$m_r + 0,011 < 2 \cdot 1000 \cdot 0,01 \cdot 4 \cdot 0,008,$$

$$m_r < 0,629 \text{ кг}.$$

Таким образом, максимальная масса груза, которую может удержать на поверхности воды фрагмент вспененного полиэтилена размером $0,032 \times 0,1 \times 0,1 \text{ м}$, составляет 629 г .

Оценка результатов теоретических исследований выполнена путем проведения эксперимента с использованием пластин вспененного полиэтилена указанного размера, скрепленных между собой двухсторонней липкой лентой.

Для исключения попадания воды в поры фрагмент из четырех пластин вспененного полиэтилена плотно оборачивался пищевой полиэтиленовой пленкой без деформации его формы и размеров, что полностью соответствовало реальным условиям эксплуатации и предполагаемому расположению элементов положительной плавучести в жилете теплоизолирующего комбинезона. Результаты экспериментальных исследований позволили установить фактическую массу груза, равную $676 \pm 1 \text{ г}$, которую может удержать на поверхности воды фрагмент размером $0,032 \times 0,1 \times 0,1 \text{ м}$, состоящий из четырех пластин вспененного полиэтилена.

Относительная погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований составила не более 7 %, что говорит о хорошей сходимости и подтверждает правильность проведенных расчетов.

Как показано ранее, при спасении обессилевших или потерявших сознание потерпевших при чрезвычайных ситуациях человека и спасателя нормативное значение собственной плавучести защитного костюма установлено на уровне не менее 100 Н .

Результаты теоретических исследований позволили установить, что положительная плавучесть при указанном нормативном значении будет обеспечена в случае, если в жилете теплоизолирующего комбинезона ККИЗ предусмотрено наличие элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена общей площадью $6359,3 \text{ см}^2$ при толщине одного слоя 8 мм .

Научно обоснованное определение топографии размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона ККИЗ возможно в результате применения к решаемой задаче теории остойчивости, основанной

на способности плавающих тел, выведенных из состояния равновесия, возвращаться в исходное положение после прекращения действия силы, вызвавшей крен [12].

Условия остойчивости в общем случае сводятся к следующим основным положениям:

- если пара сил (вес тела G и гидростатическая подъемная сила P_z) при крене тела стремится уменьшить крен и вернуть тело в исходное положение, то такое положение будет остойчивым;

- если пара сил (вес тела G и гидростатическая подъемная сила P_z) при крене тела стремится крен увеличить, то положение тела будет нестойчивым.

Исследователи различают три случая остойчивости тел, погруженных в жидкость [11, 12]:

- центр тяжести тела C находится ниже центра давления D (рисунок 3 а). В этом случае образуется пара сил, стремящаяся после крена вернуть тело в первоначальное положение, следовательно, имеет место остойчивое равновесие;

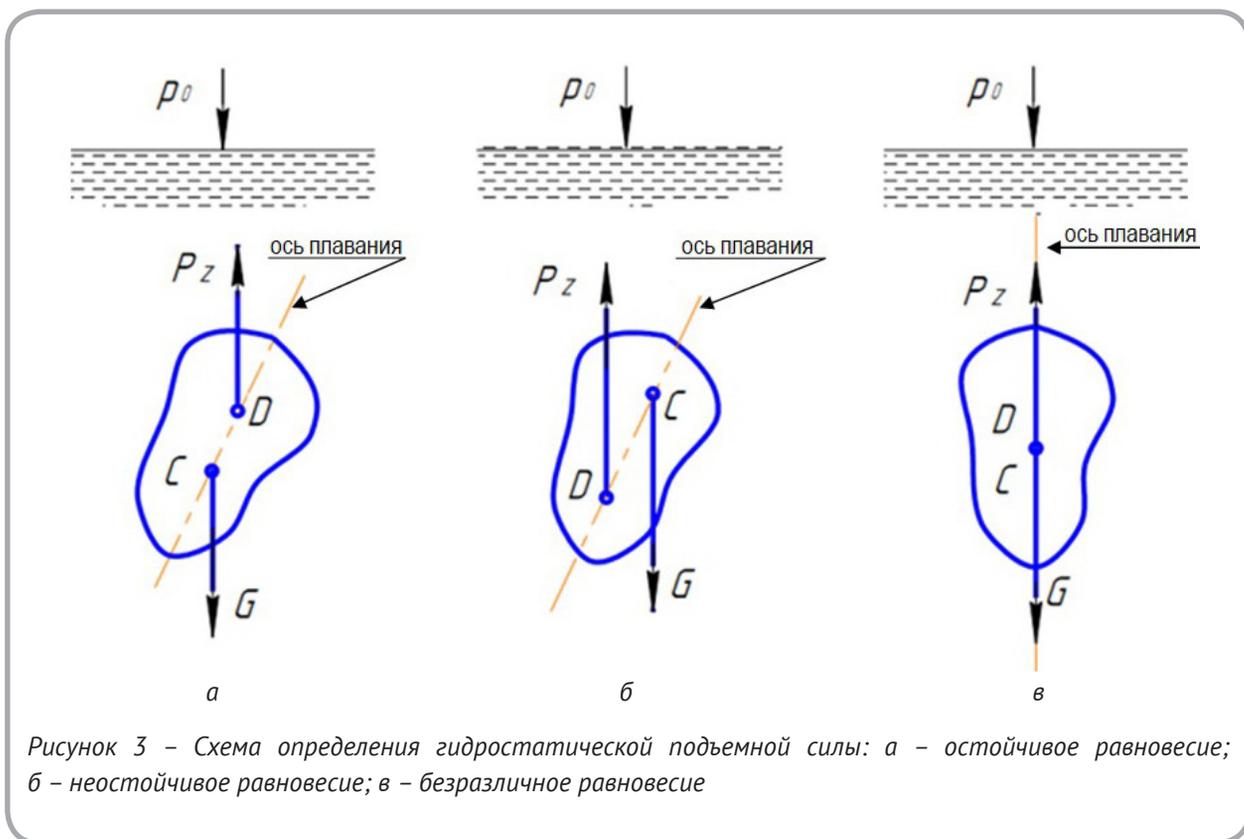
- центр тяжести тела C находится выше цен-

тра давления D (рисунок 3 б). В этом случае образуется пара сил, которая стремится увеличить крен тела, следовательно, имеет место нестойчивое равновесие;

- центр тяжести C и центр давления D совпадают (рисунок 3 в), следовательно, пара сил отсутствует, и имеет место случай безразличного равновесия, при котором тело будет сохранять заданное ему положение.

В проектируемом ККИЗ необходимо обеспечить продольную и поперечную остойчивость. Продольная остойчивость спасателя и спасаемого на воде особенно актуальна при оказании помощи взрослым со значительной массой тела. Для ее сохранения при размещении элементов положительной плавучести в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона ККИЗ учитывается взаимное расположение центров тяжести и плавучести тела в соответствии с методикой действий спасателя в различных чрезвычайных ситуациях [13].

Гарантированная поперечная остойчивость модернизированного ККИЗ, как отмечено ранее, в соответствии с требованиями к индивидуаль-



ным спасательным средствам определяется нормативным значением времени поворота тела потерявшего сознание человека в воде (не более 5 с) из любого положения в такое, при котором его рот находится над водой.

Для анализа условий обеспечения поперечной остойчивости модернизированного ККИЗ в соответствии с положениями общей теории остойчивости рассмотрена схема образования восстанавливающего момента сил, представленная на рисунке 4. Как показано в статье [13], в центре тяжести спасателя (точка *C*), одетого в ККИЗ, приложена сила веса, *G*, направленная во всех случаях вертикально и перпендикулярно к поверхности воды (ватерлиния *O-O*). Параллельно ей действует сила плавучести *P_{z2}*, приложенная в общем случае в центре погруженной части костюма (центре давления (точка *D*)).

Поведение и природа этих сил не зависят друг от друга. Поэтому при отклонении спасателя от равновесного положения они уже не действуют вдоль одной линии, а образуют пару параллельных сил, которые в свою очередь перпендикулярны новому (накрененному) положению ватерлинии *O'-O'*. Возникающая пара сил создаёт восстанавливающий момент, который противодействует кренящему моменту, стремя-

щему повернуть спасателя.

Величина восстанавливающего момента, *M_в*, может быть вычислена по формуле:

$$M_{в}(\theta) = P_{z_2} \cdot l(\theta) , \quad (7)$$

где *l(θ)* – плечо статической остойчивости, *м*.

Формула (7) указывает на то, что момент *M_в* зависит от угла поворота тела спасателя, то есть является переменной величиной. Топография размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона, обеспечивающих положительную поперечную остойчивость, должна учитывать обязательное условие возникновения восстанавливающего момента при опасном положении органов дыхания спасателя (рисунок 5).

При выборе мест размещения элементов положительной остойчивости определим поперечный метациентр ККИЗ: точку, являющуюся центром кривизны той траектории, по которой центр плавучести перемещается при поворачивании спасателя относительно горизонтали *O-O* (рисунок 4).

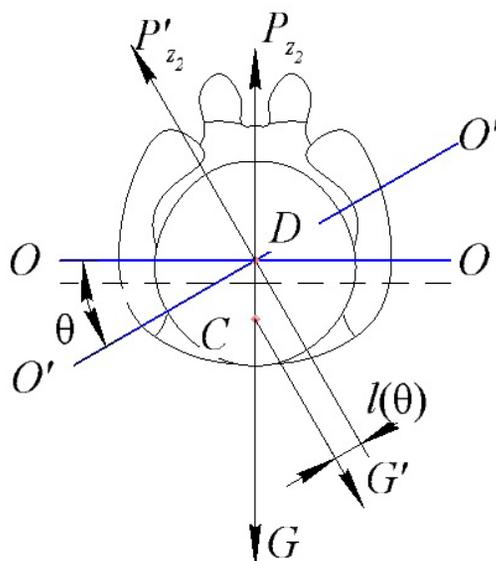


Рисунок 4 – Схема образования восстанавливающего момента

Положение метацентра при совпадении горизонтали $O-O$ и линии поверхности воды, согласно схеме образования восстанавливающего момента (рисунок 4), соответствует определению начального поперечного метацентра (точка D'). В соответствии с теорией остойчивости установлено, что чем ниже располагается центр тяжести спасателя по отношению к начальному метацентру (рисунок 5 а), тем больше будет плечо восстанавливающего момента и сам этот момент.

При повороте спасателя лицом вниз центр тяжести тела C находится выше центра давления (плавучести) D (рисунок 5 б). В соответствии со схемой, представленной на рисунке 3 б, имеет место нестойчивое равновесие, при котором сила тяжести и сила плавучести при малейшем колебании образуют пару сил с увеличивающимся восстанавливающим моментом. Спасатель за некоторый промежуток будет поворачиваться в сторону остойчивого равновесия лицом вверх (рисунок 4). Для увеличения величины восстанавливающего момента и, следовательно, скорости поворота, целесообразно располагать дополнительные элементы, обеспечивающие положительную плавучесть костюма, в области предплечья.

Таким образом, при проектировании ККИЗ целесообразно разместить элементы положительной плавучести из вспененного полиэтилена преимущественно в жилете:

- в области грудной клетки, обеспечивая остойчивое равновесие спасателя лицом вверх (зона 1 на рисунке 6 а);

- в верхней части плечевого пояса со стороны спины и дополнительно во внутреннем теплоизоляционном комбинезоне в затылочной области (зона 2 на рисунке 6 б) для поддержания органов дыхания над поверхностью воды.

Кроме того, для создания максимальных восстанавливающих моментов требуется установить элементы положительной плавучести во внутреннем теплоизолирующем комбинезоне в области предплечий (зона 3 на рисунке 6).

Результаты проведенных теоретико-экспериментальных исследований были использованы при определении места расположения и конфигурации элементов положительной плавучести, разработке чертежей лекал деталей жилета и внутреннего теплоизолирующего комбинезона ККИЗ (рисунок 7), а также при расчете фактической площади вспененного полиэтилена (рисунок 8).

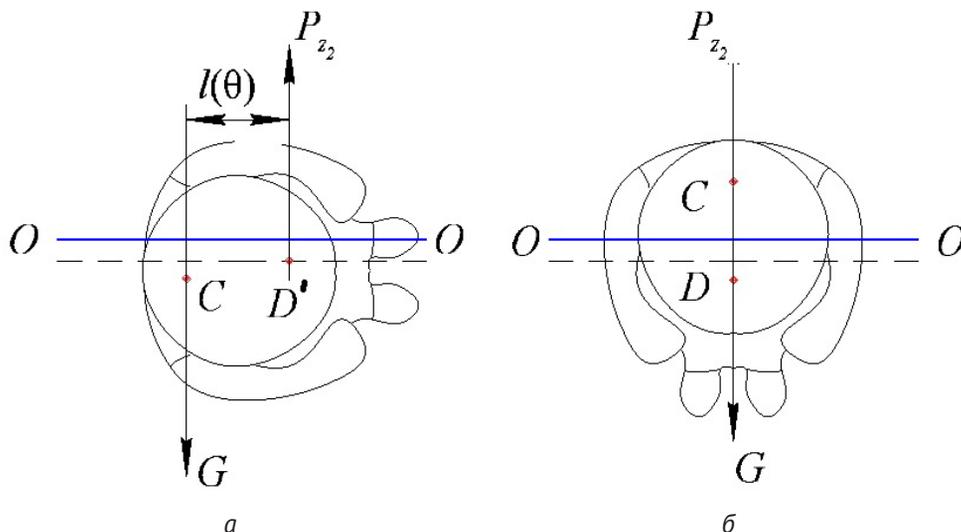


Рисунок 5 – Схема обеспечения поперечной положительной остойчивости модернизированного ККИЗ: а – плечо восстанавливающего момента; б – взаимное расположение центров тяжести и плавучести тела при повороте спасателя лицом вниз

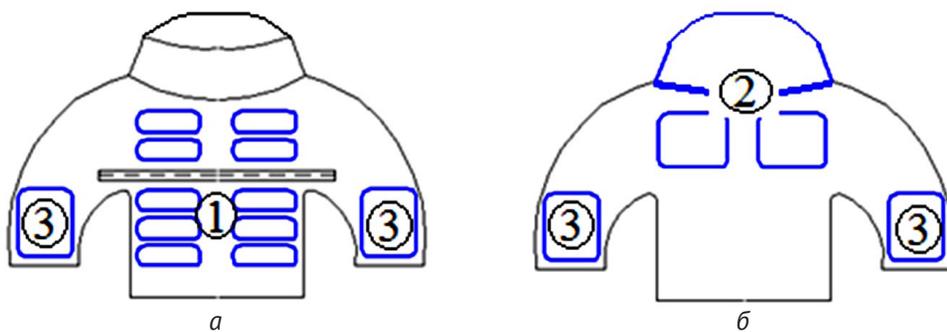


Рисунок 6 – Рациональный вариант размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета и дополнительных элементов на участках теплоизолирующего комбинезона ККИЗ: а – вид спереди; б – вид сзади

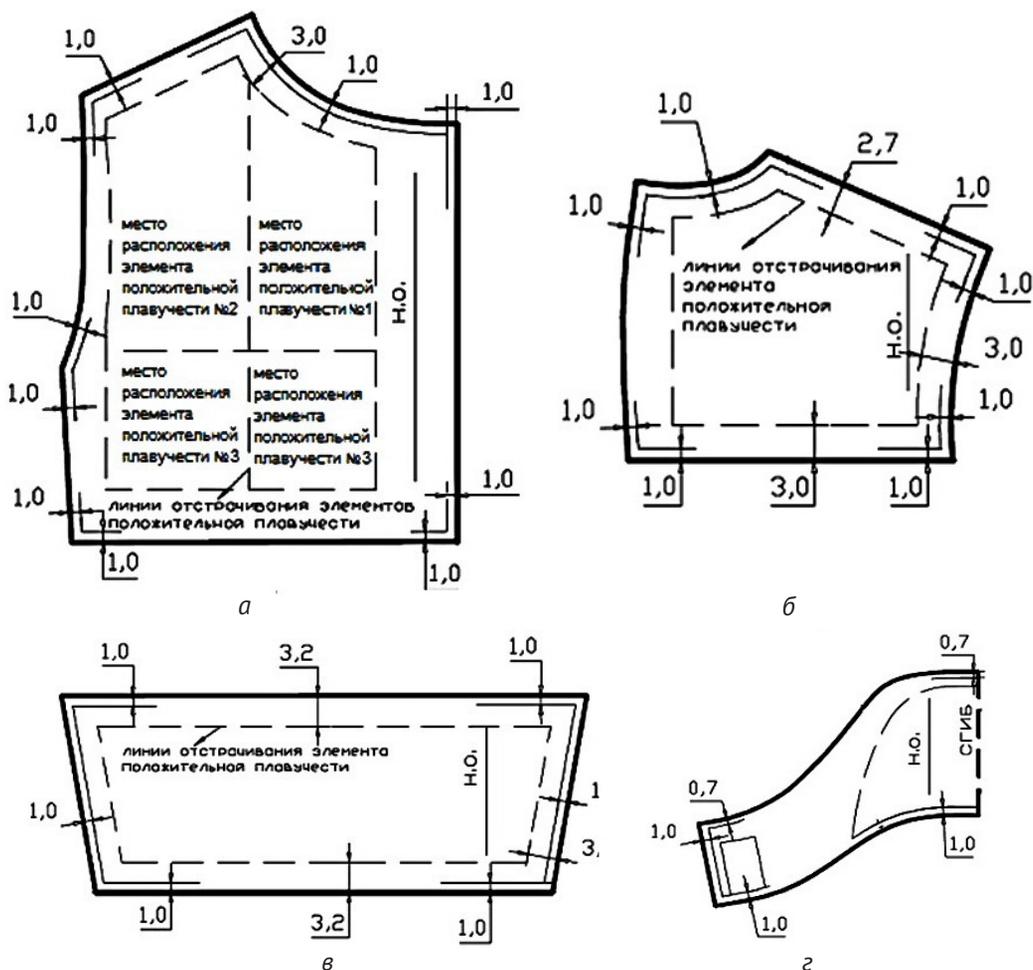


Рисунок 7 – Чертежи лекал деталей ККИЗ, содержащих элементы положительной плавучести из вспененного полиэтилена: а – перед жилета; б – спинка жилета; в – подкладка элемента положительной плавучести рукава теплоизолирующего комбинезона; г – воротник теплоизолирующего комбинезона

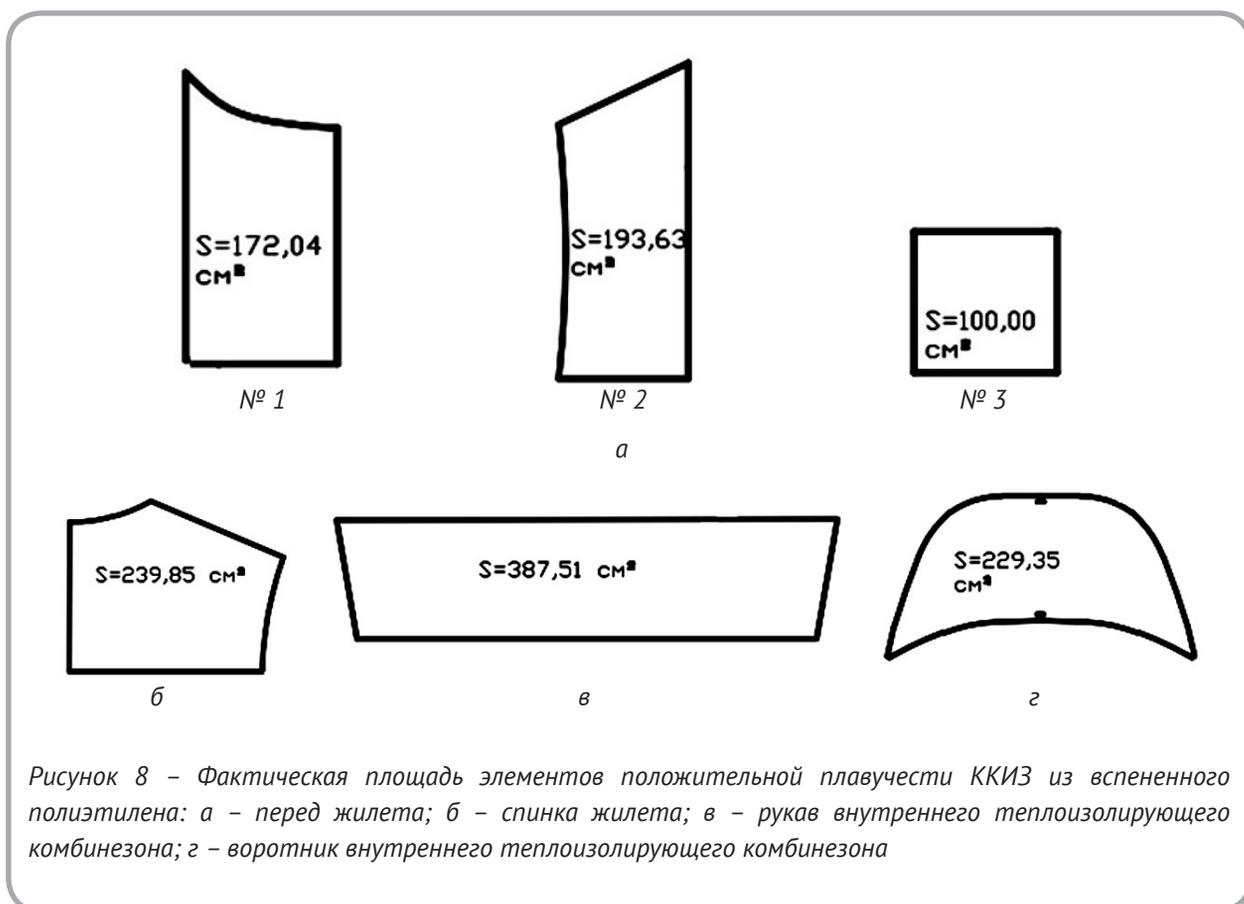


Рисунок 8 – Фактическая площадь элементов положительной плавучести ККИЗ из вспененного полиэтилена: а – перед жилета; б – спинка жилета; в – рукав внутреннего теплоизолирующего комбинезона; г – воротник внутреннего теплоизолирующего комбинезона

В таблице 1 приведена фактическая площадь элементов положительной плавучести на участках спинки, переда жилета, а также допол-

нительно на участках рукава, воротника теплоизолирующего комбинезона ККИЗ.

Таблица 1 – Фактическая площадь элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена на участках спинки и переда жилета, рукавов и воротника теплоизолирующего комбинезона ККИЗ

Наименование детали	Количество деталей, шт	Фактическая площадь одного элемента, S' , $см^2$	Общая фактическая площадь, S , $см^2$
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 1 рисунок 8, а)	6	172,04	1 032,4
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 2 рисунок 8, а)	6	193,64	1 161,84
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 3 рисунок 8, а)	12	100,00	1 200,0
Элемент положительной плавучести спинки жилета (рисунок 8, б)	4	239,85	959,4
Элемент положительной плавучести рукава внутреннего теплоизолирующего комбинезона (рисунок 8, в)	4	387,51	1 550,04
Элемент положительной плавучести воротника внутреннего теплоизолирующего комбинезона (рисунок 8, г)	2	229,35	458,70
Итого общая фактическая площадь элементов положительной плавучести			6 389,38

Таким образом, общая фактическая площадь элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена, размещенных по участкам конструкции жилета и теплоизолирующего комбинезона ККИЗ, составила 6 389,38 см^2 , что согласуется с расчетным значением общей площади элементов положительной плавучести, составляющей 6 359,3 см^2 при толщине одного слоя 8 мм . Следовательно, в проектируемом ККИЗ будет обеспечена собственная плавучесть костюма на уровне не менее 100 Н , а также возможность спасения обессилевших или потерявших сознание при чрезвычайных ситуациях потерпевшего и спасателя.

Результаты проведенных теоретико-экспериментальных исследований плавучести, положительной остойчивости в совокупности с типовым инженерным процессом разработки конструкторской документации на новую модель одежды

массового производства позволили обеспечить научно обоснованный подход к проектированию модернизированного варианта ККИЗ с элементами положительной плавучести.

Согласно результатам эксплуатационных испытаний, проведенных на базе центра водозащитно-спасательной службы ГПАСУ «РОСН» 28-29.10.2020, установлено, что предоставленный модернизированный экспериментальный образец ККИЗ с элементами положительной плавучести обладает необходимой быстротой надевания, эргономичностью, легкостью, достаточно устойчив к разрывам, обеспечивает положительную плавучесть и безопасность личного состава при проведении работ, связанных со спасением людей на воде (льду), нахождении на открытом воздухе при низкой температуре (письмо от 16.11.2020 № 52/03-06/848).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сухова, А. А. (2016), Анализ современных изолирующих материалов и средств индивидуальной защиты кожи на их основе, *Вестник технологического университета*, 2016, № 15 (Т. 19), С. 128–130.
2. Ольшанский, В. И., Довыденкова, В. П., Навроцкий, О. Д., Окунев, Р. В., Пенкрат, Д. И. (2019), Многослойные материалы на тканой основе и их применение для защитной одежды аварийно-спасательных подразделений МЧС Беларуси. Исследование структуры и физико-механических показателей материалов, *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*, 2019, № 2 (46), С. 136–149.
3. Европейский стандарт и требования Международной конвенции по спасению человеческой жизни на море для спасательных жилетов (2020), режим доступа: <https://volveter.ru/blog/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/trebovaniya-evropeyskogo-standarta-dlya-spasatelnykh-zhiletov> (дата доступа 15 октября 2020).

REFERENCES

1. Sukhova, A. A. (2016), Analysis of modern insulating materials and personal protective equipment based on them [Analiz sovremennyh izoliruyushchih materialov i sredstv individual'noj zashchity kozhi na ih osnove], *Vestnik tekhnologicheskogo universitetata – Vestnik of the Technological University*, 2016, № 15 (Т. 19), pp. 128–130.
2. Olshansky, V. I., Dovydenkova, V. P., Navrotsky, O. D., Okunev, R. V., Penkrat, D. I. (2019), Multilayer materials on a woven basis and their application for protective clothing of emergency rescue units of the Ministry of Emergency Situations of Belarus. Study of the structure and physical and mechanical properties of materials [Mnogoslojnye materialy na tkanoj osnove i ih primenenie dlya zashchitnoj odezhdy avarijno-spasatel'nyh podrazdelenij MCHS Belarusi. Issledovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh pokazatelej materialov], *Chrezvyhajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya – Emergencies: prevention and liquidation*, 2019, № 2 (46),

4. Требования к индивидуальным спасательным средствам согласно международного кодекса по спасательным средствам (2020), режим доступа: <http://morez.ru/trebovaniya-k-spasatelnim-sredstvam> (дата доступа 9 ноября 2020).
5. Акционерное общество «Уфимский завод эластомерных материалов, изделий и конструкций» (2017), *Костюм гидротермический*, РФ, Пат. 173692.
6. Одаренко, О. Б. (1996), *Спасательный гидротермокомбинезон*, РФ, Пат. 2234.
7. Добровольский, В. Н., Федотов, И. П. (2004), *Спасательный гидротермокостюм с откидным распахом (ГКТС-Р)*, Патент России, Пат. 48312.
8. Чакрыян, Г. С., Розе, А. Н., Деянышев, В. Н. [и др.] (2017), *Гидрокостюм сухого типа*, Патент России, Пат. 179727.
9. Яковлев, А. Ю. (2013), *Плавательный спасательный гидрокостюм*, Патент России, Пат. 137541.
10. Киннунен, А. И., Махалов, С. А. (2012), *Гидротермокостюм*, Патент России, Пат. 123761.
11. Триандафилов, А. Ф. (2003), *Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие*, Сыктывкар, 212 с.
12. Кацман, Ф. М., Коваленко, Б. П. (2003), *Основы остойчивости морского судна*, Санкт-Петербург, 48 с.
13. Асташов, С. П., Навроцкий, О. Д., Ольшанский, В. И., Довыденкова, В. П., Жерносек С. В. (2020), Исследование плавучести и остойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты, *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*, 2020, № 1 (47), С. 127–131.
- pp. 136–149.
3. European standard and requirements of the International Convention for the Saving of Life at Sea for life jackets [Evropejskij standart i trebovaniya Mezhdunarodnoj konvencii po spaseniyu chelovecheskoj zhizni na more dlya spasatel'nyh zhiletov] (2020), available at: <https://volveter.ru/blog/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/trebovaniya-evropeyskogo-standarta-dlya-spasatelnykh-zhiletov> (accessed 15 october 2020).
4. Requirements for personal life-saving appliances according to the international life-saving appliances code [Trebovaniya k individual'nym spasatel'nym sredstvam soglasno mezhdunarodnogo kodeksa po spasatel'nym sredstvam] (2020), available at: <http://morez.ru/trebovaniya-k-spasatelnim-sredstvam/> (accessed 9 of november 2020).
5. Joint Stock Company «Ufa Plant of Elastomeric Materials, Products and Structures» (2017), *Kostyum gidrotermicheskij* [Hydrothermal suit], RF, Pat. 173692.
6. Odarenko, O. B. (1996), *Spasatel'nyj gidrotermokombinezon* [Rescue hydrothermosuit], RF, Pat. 2234.
7. Dobrovolsky, V. N., Fedotov, I. P. (2004), *Spasatel'nyj gidrotermokostyum s otkidnym raspahom (GKTS-R)* [Rescue immersion suit with folding opening (GKTS-R)], Russian Patent, Pat. 48312.
8. Chakryan, G. S., Rose, A. N., Deyanyshev, V. N. [and etc.] (2017), *Gidrokostyum suhogo tipa* [Dry wetsuit], Russian Patent, Pat. 179727.
9. Yakovlev, A. Yu (2013), *Plavatel'nyj spasatel'nyj gidrokostyum* [Swimming Rescue Wetsuit], Russian Patent, Pat. 137541.
10. Kinnunen, A. I., Makhalov, S. A. (2012), *Gidrotermokostyum* [Wetsuit], Russian Patent, Pat.

123761.

11. Triandafilov, A. F. (2003), *Gidravlika i gidravlicheskiye mashiny: uchebnoye posobiye* [Hydraulics and Hydraulic Machines: tutorial], Syktyvkar, 212 p.
12. Katsman, F. M., Kovalenko, B. P. (2003), *Osnovy ostoichivosti morskogo sudna* [Basics of the stability of a sea vessel], St. Petersburg, 48 p.
13. Astashov, S. P., Navrotsky, O. D., Olshansky, V. I., Dovydenkova, V. P., Zhernosek, S. V. (2020), Study of the buoyancy and stability of a combined personal protective suit [Issledovanie plavuchesti i ostoichivosti kombinirovannogo kostyuma individual'noj zashchity], *Chrezvychnyye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya – Emergencies: prevention and liquidation*, 2020, № 1 (46), pp. 127–131.

Статья поступила в редакцию 01. 11. 2022 г.