

**К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ОБОГРЕВАЮЩЕГО СЛОЯ СПЕЦОДЕЖДЫ  
С АВТОМАТИЧЕСКИМ САМОНАСТРАИВАЮЩИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

**ABOUT SIMULATION OF THE HEATING LAYER  
OF WORKWEAR WITH AUTOMATIC SELF-ADJUSTING REGULATION**

*О.М. ВЛАСЕНКО, А.А. КАЗНАЧЕЕВА, С.В. ЗАХАРКИНА*

*O.M. VLASENKO, A.A. KAZNACHEEVA, S.V. ZAKHARKINA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: vlasenko-om@rguk-ru

*Статья посвящена актуальной проблеме разработки спецодежды с активными элементами обогрева и встроенной системой автоматического регулирования для работы в экстремальных условиях. Задача проектирования такой одежды включает подбор соответствующих текстильных материалов и конструкций с рациональным размещением нагревательных элементов и элементов системы автоматического управления. На основе анализа моделей, описывающих теплообменные процессы в системе "человек-спецодежда-окружающая среда", предложена методика идентификации обогреваемой спецодежды как объекта автоматического управления. Используя методы теории подобия и имитационного компьютерного моделирования, проанализирована структура автоматической системы регулирования с комбинацией двух управляющих воздействий. Рассмотрена возможность применения табличной автонастройки ПИД-регуляторов в контурах автоматической системы управления.*

*На основе полученных моделей, структур и алгоритмов предполагается разработать базу знаний, которая позволит унифицировать процесс моделирования и проектирования спецодежды с активными элементами защиты, создавать и настраивать автоматическую систему управления для поддержания основных жизненно важных параметров человека при работе в экстремальных условиях.*

*The article deals with an actual problem of the development of workwear with active heating elements and a built-in automatic control system for work in extreme conditions. The design process of such workwear includes the selection of appropriate textile materials, rational placement of heating elements and elements of the automatic control system. Based on model analysis of heat exchange processes in the system "man-workwear-environment" the method for identifying heated overalls as an object of automatic control is proposed. To solve the set tasks, the similarity theory methods and simulation computer modeling were used. The structure of an automatic control system with a combination of two control actions is considered. It is proposed to use the tabular method for automatic tuning of the PID controller.*

*On the basis of the obtained models, structures and algorithms, it is planned to develop a knowledge base that will unify the process of modeling and design of workwear with active protection elements, to create and to configure an automatic control system in workwear and to maintain the basic vital parameters of a person when working in extreme conditions.*

**Ключевые слова:** активные элементы защиты, модель "человек-спецодежда-среда", автоматическая система регулирования, динамическая модель, ПИД-регулятор, теплообмен, температура.

**Keywords:** active protection elements, model "man-workwear-environment", automatic control system, dynamic model, PID-controller, heat exchange, temperature.

Проектирование современной спецодежды для работы в экстремальных температурных условиях предполагает не только работу с многослойным текстильным пакетом, осуществляющим пассивную защиту, но и разработку слоя с активными тепловыделяющими элементами [1], [2]. Для обеспечения заданного температурного режима необходимо оснащать такую спецодежду автоматической системой регулирования (АСР), которая позволит проводить удаленный мониторинг состояния человека, передавая данные на диспетчерский пункт или переносное компьютерное устройство.

Актуальная задача разработки спецодежды с активными элементами включает формулирование общих принципов ее моделирования и проектирования, подбор соответствующих текстильных материалов, обоснование конструкции одежды с учетом рационального размещения активных элементов защиты, источников энергии и элементов системы автоматического управления [2...5].

Разработка встроенной АСР в одежде начинается с анализа моделей, описывающих теплообменные и другие процессы в системе "человек-спецодежда-окружающая среда" с целью идентификации ее как объекта управления [5...10]. Полученные модели, а также методики определения оптимальной структуры системы, алгоритмов выбора и настройки управляющих устройств, рекомендации по разработке программных и аппаратных решений могут быть положены в основу экспертной базы знаний [10], [11].

Для защиты человека от экстремально низких температур применяется спецодежда с различными типами электро- и водообогревательных элементов [1], [4...6], [9] [12].

Для описания модели "человек-спецодежда-окружающая среда" известны несколько подходов. Распространено представление человека в виде цилиндров с однородной средой и установившимся процессом теплопередачи [2], [6]. Для расчета теплового потока используют производные уравнения Ньютона-Рихмана и другие соотношения теории теплообмена.

Сложные варианты моделей учитывают не только теплообменные, но и массообменные процессы в пододежном пространстве и используют систему дифференциальных уравнений для описания тепло- и влагопереноса в системе "человек-одежда-среда" [7], [13].

При проектировании водолазной спецодежды с автоматическим регулированием температуры для получения модели "человек-спецодежда-среда" используют метод сеток и метод электротепловой аналогии [5], [9].

Для упрощения реализации АСР, подбора и настройки регулятора спецодежду разделяют на секции по частям тела в соответствии с местами установки датчиков температуры и рассматривают динамическую модель системы с сосредоточенными параметрами для каждой секции.

Применим следующий подход для описания динамической модели водообогреваемой одежды глубоководного водолаза, работающей по открытому циклу: выведем общие уравнения модели с сосредоточенными параметрами, принимая некое усредненное значение температур в слоях одежды. Полученные соотношения можно применить в дальнейшем для расчета отдельных секций и использовать для автостройки регулятора в системе управления.

Рассмотрим два варианта реализации водообогрева в водолажном комбинезоне. В

первом варианте (рис.1: 1 – перфорированные трубки; 2 – клапан; 3, 5 – насосы; 4 – нагреватель воды; 6 – распределительная коробка; УНВ – устройство нагрева воды) вода подается насосом 3 от устройства нагрева воды (УНВ) 4 через центральный клапан 2 в перфорированные трубки, вшитые в комбинезон.

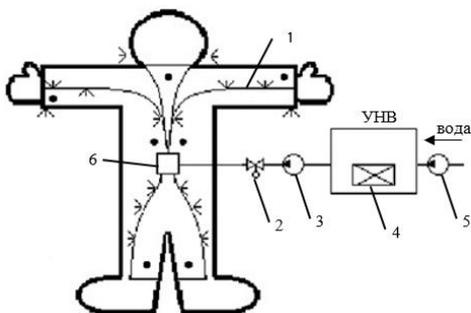


Рис. 1

Из трубок 1 вода растекается в подкомбинезонное пространство и далее сбрасывается в окружающую среду в районе шеи, низа штанин и манжетов рукавов. Теплоотдача к телу человека происходит через тонкий гидрокомбинезон, одетый под основным комбинезоном с трубками, по всей площади соприкосновения. Водобогрев такого типа применяется в комбинезонах Comex (Франция), Viking HWS (Trelleborg, Швеция), Northern Diver (Великобритания) [9].

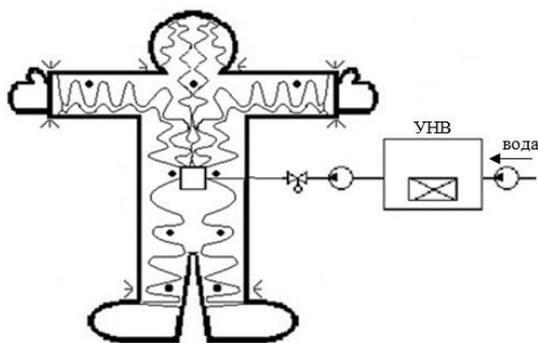


Рис. 2

Во втором варианте (рис.2) используются неперфорированные трубки, плотно уложенные по всей внутренней поверхности комбинезона. Теплопередача осуществляется через стенки трубок и тонкий слой нательного комбинезона. Примером такой спецодежды является отечественный гидрокостюм КВО-2.

Уравнения теплового баланса для УНВ имеют вид:

$$\begin{cases} Q_{\text{п}} = m_{\text{н}} c_{\text{н}} \frac{d\theta_{\text{н}}}{dt} + S_{\text{нв}} \alpha_{\text{нв}} (\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{в0}}), \\ S_{\text{нв}} \alpha_{\text{нв}} (\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{в0}}) = m_{\text{в}} c_{\text{в}} \frac{d\theta_{\text{в}}}{dt} + F_{\text{в}} c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} (\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{в0}}) \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – мощность питания, подводимая к нагревателю УНВ, Вт;  $m_{\text{н}}$  – масса нагревателя, кг;  $c_{\text{н}}$  – удельная массовая теплоемкость материала нагревателя, Дж/(кг·°C);  $S_{\text{нв}}$  – площадь поверхности нагревателя, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{нв}}$  – коэффициент теплоотдачи от нагревателя к воде, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\theta_{\text{н}}$  – температура нагревателя, °C;  $\theta_{\text{в0}}$  – температура воды на входе в УНВ, °C;  $\theta_{\text{в}}$  – температура воды в УНВ, °C;  $F_{\text{в}}$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{в}}$  – удельная массовая теплоемкость воды, Дж/(кг·°C).

После проведения ряда преобразований с учетом приращений во времени и начальных условий, получаем дифференциальные уравнения, описывающие динамику УНВ:

$$\begin{cases} T_{\text{н}} \frac{d\Delta\theta_{\text{н}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{н}} = k_{\text{н}} \Delta Q_{\text{п}}, \\ T_{\text{в}} \frac{d\Delta\theta_{\text{в}}}{dt} + \Delta\theta_{\text{в}} = k_{\text{в}} \Delta\theta_{\text{н}}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $T_{\text{н}}$  – постоянная времени нагревателя, с:  $T_{\text{н}} = \frac{m_{\text{н}} * c_{\text{н}}}{S_{\text{нв}} * \alpha_{\text{нв}}}$ ;  $k_{\text{н}}$  – коэффициент передачи нагревателя, °C/Вт:  $k_{\text{н}} = \frac{1}{S_{\text{нв}} * \alpha_{\text{нв}}}$ ;  $T_{\text{в}}$  – постоянная времени воды, с:  $T_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{F_{\text{в}} * \rho_{\text{в}}}$ ;  $k_{\text{в}}$  – коэффициент передачи воды, °C/Вт:  $k_{\text{в}} = \frac{S_{\text{нв}} * \alpha_{\text{нв}}}{F_{\text{в}} * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}}}$ .

Таким образом, передаточная функция УНВ:

$$W_{\text{УНВ}} = \frac{k_{\text{н}} * k_{\text{в}}}{(T_{\text{в}} p + 1)(T_{\text{н}} p + 1)} \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса для слоев в спецодежде можно описать следующим образом:

$$F_{\text{в}} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{в0}}) = c_{\text{во}} m_{\text{во}} \frac{d\theta_{\text{во}}}{dt} + S_{\text{ос}} \alpha_{\text{ос}} (\theta_{\text{во}} - \theta_{\text{ос}}) + S_{\text{оч}} \alpha_{\text{оч}} (\theta_{\text{во}} - \theta_{\text{оч}}), \quad (4)$$

где  $c_{во}$  – удельная массовая теплоемкость слоя одежды, заполненного водой, Дж/(кг·°C);  $m_{во}$  – масса воды в одежде, кг;  $\theta_{во}$  – температура воды в одежде, °C;  $\theta_{оч}$  – температура слоя нательной одежды, °C;  $\theta_{ос}$  – температура окружающей среды, °C;  $S_{оч}$  и  $\alpha_{оч}$  – соответственно площадь теплоотдачи и коэффициент теплоотдачи от воды к нательному слою одежды, м<sup>2</sup> и Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $S_{ос}$  и  $\alpha_{ос}$  – соответственно площадь теплоотдачи и коэффициент теплоотдачи от одежды в окружающую среду, м<sup>2</sup> и Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

После преобразований с учетом начальных условий получим дифференциальные уравнения, описывающие динамику теплообмена в одежде в случае управляющих воздействий – температуры и расхода обогревающей воды:

$$\begin{cases} T_{во} \frac{d\Delta\theta_{во}}{dt} + \Delta\theta_{во} = k_{во1}\Delta\theta_{в} + k_{ос}\Delta\theta_{ос}, \\ T_{во} \frac{d\Delta\theta_{во}}{dt} + \Delta\theta_{во} = k_{во2}\Delta F_{в} + k_{ос}\Delta\theta_{ос} \end{cases} \quad (5)$$

где  $T_{во}$  – постоянная времени одежды, с:  $T_{во} = \frac{m_{во} \cdot c_{во}}{S_{ос} \cdot \alpha_{ос} + S_{оч} \cdot \alpha_{оч}}$ ;  $k_{во1}$  – коэффициент передачи одежды по управляющему воздействию – температуре воды, °C/°C:  $k_{во1} =$

$$c_{ч} m_{ч} \frac{d\theta_{ч}}{dt} + S_{ч} \alpha_{ч} (\theta_{ч} - \theta_{оч}) + S_{оч} \alpha_{оч} (\theta_{во} - \theta_{оч}) = c_{оч} m_{оч} \frac{d\theta_{оч}}{dt}, \quad (7)$$

где  $m_{ч}$  – масса человека, кг;  $\theta_{ч}$  – температура тела человека, °C;  $S_{ч}$  и  $\alpha_{ч}$  – соответственно площадь и коэффициент теплоотдачи с поверхности тела человека, м<sup>2</sup> и

$$T_{оч} \frac{d\Delta\theta_{оч}}{dt} + \Delta\theta_{оч} = k_{ч} \left( T_{ч} \frac{d\Delta\theta_{ч}}{dt} + \Delta\theta_{ч} \right) + k_{оч} \Delta\theta_{во}, \quad (8)$$

где  $T_{оч}$  – постоянная времени нательного слоя одежды, с:  $T_{оч} = \frac{m_{оч} c_{оч}}{S_{ч} \alpha_{ч} + S_{оч} \alpha_{оч}}$ ;  $k_{оч}$  – коэффициент передачи нательного слоя одежды:  $k_{оч} = \frac{S_{оч} \alpha_{оч}}{S_{оч} \alpha_{оч} + S_{ч} \alpha_{ч}}$ ;  $k_{ч}$  – коэффициент передачи тепла от тела человека:  $k_{ч} = \frac{S_{ч} \alpha_{ч}}{S_{оч} \alpha_{оч} + S_{ч} \alpha_{ч}}$ ;  $T_{ч}$  – постоянная времени человека, с:  $T_{ч} = \frac{m_{ч} c_{ч}}{S_{ч} \alpha_{ч}}$ .

$= \frac{F_{в} \cdot c_{в} \cdot \rho_{в}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} \alpha_{оч}}$ ;  $k_{ос}$  – коэффициент передачи в окружающую среду:  $k_{ос} = \frac{S_{ос} \alpha_{ос}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} \alpha_{оч}}$ ;  $k_{во2}$  – коэффициент передачи одежды по управляющему воздействию – расходу воды, °C/°C:  $k_{во2} = \frac{\theta_{в} c_{в} \rho_{в}}{S_{ос} \alpha_{ос} + S_{оч} \alpha_{оч}}$ .

Передаточная функция, описывающая динамику изменения температуры в слое одежды, заполненном водой для двух видов управляющих воздействий:

$$\begin{cases} W_{во1}(p) = \frac{\Delta\theta_{во}(p)}{\Delta\theta_{в}(p)} = \frac{k_{во1}}{(T_{во}p+1)}, \\ W_{во2}(p) = \frac{\Delta\theta_{во}(p)}{\Delta F_{в}(p)} = \frac{k_{во2}}{(T_{во}p+1)}, \\ W_{ос}(p) = \frac{k_{ос}}{(T_{во}p+1)}. \end{cases} \quad (6)$$

Получим динамическую модель для слоя "одежда-человек" (нательный комбинезон). В этом слое предполагается установка датчиков температуры, по показаниям которых будет осуществляться автоматическое регулирование. При моделировании учтем, что человек вырабатывает свое тепло, которое также передается в рассматриваемый слой.

Уравнение теплового баланса с учетом теплопродукции человека:

Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $c_{ч}$  – удельная массовая теплоемкость человека, Дж/(кг·°C).

Дифференциальное уравнение в отклонениях имеет вид:

Передаточные функции, описывающие динамику изменения температуры человека и нательного слоя одежды:

$$\begin{cases} W_{оч}(p) = \frac{k_{оч} e^{-p\tau}}{(T_{оч}p+1)}, \\ W_{ч}(p) = \frac{k_{ч}(T_{ч}p+1)e^{-p\tau}}{(T_{оч}p+1)}, \end{cases} \quad (9)$$



$$c_{\text{ч}} m_{\text{ч}} \frac{d\theta_{\text{ч}}}{dt} + S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} (\theta_{\text{ч}} - \theta_{\text{оч}}) + S_{\text{тр}} \frac{\lambda_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}} (\theta_{\text{тр}} - \theta_{\text{оч}}) = c_{\text{оч}} m_{\text{оч}} \frac{d\theta_{\text{оч}}}{dt}. \quad (12)$$

Расчетные формулы для коэффициентов в передаточных функциях (9) изменятся следующим образом:

$$K_{\text{оч}} = \frac{S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}{S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} + S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}, T_{\text{оч}} = \frac{m_{\text{оч}} c_{\text{оч}}}{S_{\text{ч}} \alpha_{\text{ч}} + S_{\text{тр}} \frac{\alpha_{\text{тр}}}{\delta_{\text{тр}}}}.$$

Таким образом, в структурной схеме, приведенной на рис. 3, достаточно заменить передаточные функции  $W_{\text{во1}}(p)$  и  $W_{\text{во2}}(p)$  соответственно на  $W_{\text{тр1}}(p)$  и  $W_{\text{тр2}}(p)$ .

Особенностью теплотехнических условий водолазных спусков является изменение глубины погружений и температуры окружающей воды и связанные с ними изменение давления в подкомбинезонном пространстве, состава дыхательной смеси, увеличение теплопотерь [14]. Для компенсации влияния возмущающих воздействий и обеспечения необходимого температурного режима необходимо повышать температуру теплоносителя в зависимости от глубины погружения и учитывать соответствующие изменения параметров теплообмена – средних и определяющих температур, коэффициентов теплоотдачи. В связи с этим меняются входящие в приведенные динамические модели параметры – коэффициенты передач и постоянные времени, а следовательно, необходимо подстраивать параметры регулятора.

Метод автоматической настройки регулятора предполагает ввод параметров настройки из таблицы в соответствии с определенными условиями [15]. Применительно к решаемой задаче таблица настроек включает массив параметров ПИД-регулятора, подобранных для температуры теплоносителя: 50, 60, 70 и 80°C и глубин погружения 0, 50, 80, 150, 200 и 300 м.

## ВЫВОДЫ

На основе анализа моделей теплообмена в системе "человек-спецодежда-окружающая среда" проведена идентификация динамической модели водообогреваемой водолазной спецодежды как объекта автомати-

ческой системы регулирования температуры. Предложена двухконтурная структурная схема АСР с управляющими воздействиями по температуре теплоносителя и по расходу воды. Рассмотрена возможность применения метода табличной автонастройки ПИД-регуляторов системы. Описанные модели и методы будут включены в базу знаний для использования в процессе проектирования спецодежды с активными элементами защиты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук Н.С., Власенко О.М. Спецодежда для экстремальных условий с активными элементами // Сб. науч. тр. кафедры автоматики и промышленной электроники. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 125...132.
2. Селина И.Г., Кораблина С.Ю., Тихонова И.В., Прохоров В.Г., Осина Т.М. Об особенностях формирования условий по обеспечению военнослужащих Арктики востребованной продукцией // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование: мат. XII Междунар. научн.-практ. конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. С.189...197.
3. Mahnic M., Petrak S., Jelka G., Rolich T. Analysis of dynamics and fit of diving suits // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017. P.1...6.
4. Zhang H. Performance of immersion suits: A literature review // Journal of Industrial Textiles.– 44(2), 2013. P. 288...306.
5. Ефремов В.В. Автоматическое регулирование температуры в спецодежде водолазов. – М.: РИО МГУДТ, 2012.
6. Li B., Yang Y., Yao R., Liu H., Li Y. A simplified thermoregulation model of the human body in warm conditions // Applied Ergonomics. – 59 (A), 2017. P.387...400.
7. Kingma B.R., Frijns A.J., Schellen L. Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort // van Marken Lichtenbelt WD. Temperature (Austin). – Jul 8;1(2), 2014. P. 142...149.
8. Пулатова С.У., Кодирова С.Х., Тухтаева З.Ш. Разработка топографической карты воздействия внешних факторов на спецодежду для электроэнергетиков // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С. 258...261.
9. Анисимов А.А. Разработка автоматической системы регулирования температуры водообогреваемой спецодежды глубоководных водолазов: Дис. ...канд. техн. наук. – М.: МГУДТ, 2014.

10. Казначеева А.А., Власенко О.М., Захаркина С.В. Анализ моделей представления знаний в задачах управления элементами активной тепловой защиты спецодежды для работы в экстремальных условиях // Сб. науч. тр. кафедры автоматизации и промышленной электроники. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 57... 62.

11. Благовещенский И.Г., Балыхин М.Г., Благовещенская М.М., Назойкин Е.А., Логунова Н.Ю. Анализ применения экспертных систем для контроля и прогнозирования технологических процессов производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, №1. С.106...113.

12. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Тканые электронагреватели и Арктика // Вестник научно-технического развития. – №2 (138), 2019. С.30...40.

13. Лесникова Т.Ю., Черунова И.В. Теоретическое обоснование условий плавучести человека в одежде на основе модельного представления объекта // Сб. науч. тр. II Всероссийск. научн. конф.: Научная весна. – 2017, 2017. С. 25...31

14. Власенко О.М. Влияние возмущающих воздействий на динамические свойства нагревателя дыхательной смеси // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. С.234...239.

15. Bucz S., Kozakova A. Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance. PID Control for Industrial Processes: Books. September, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/62915>

## REFERENCES

1. Marchuk N.S., Vlasenko O.M. Overalls for extreme conditions with active elements // Sat. scientific tr. Department of Automation and Industrial Electronics. - M.: RSU named after A.N. Kosygina, 2021. S. 125...132.

2. Selina I.G., Korablina S.Yu., Tikhonova I.V., Prokhorov V.G., Osina T.M. On the features of the formation of conditions for providing military personnel in the Arctic with demanded products // Skin and fur in the XXI century: technology, quality, ecology, education: mat. XII Intern. scientific-practical conf. – Ulan-Ude: Publishing house of ESSTUU, 2016. С.189...197.

3. Mahnic M., Petrak S., Jelka G., Rolich T. Analysis of dynamics and fit of diving suits // IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2017. P.1...6.

4. Zhang H. Performance of immersion suits: A literature review // Journal of Industrial Textiles.– 44(2), 2013. P. 288...306.

5. Efremov V.V. Automatic temperature control in diving overalls. – М.: RIO MGUDT, 2012.

6. Li B., Yang Y., Yao R., Liu H., Li Y. A simplified thermoregulation model of the human body in warm conditions // Applied Ergonomics. – 59 (A), 2017. P.387...400.

7. Kingma B.R., Frijns A.J., Schellen L. Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort // van Marken Lichtenbelt WD. Temperature (Austin). – Jul 8;1(2), 2014. R. 142...149.

8. Pulatova S.U., Kodirova S.Kh., Tukhtaeva Z.Sh. Development of a topographic map of the impact of external factors on overalls for electric power industry // Sat. mat. International scientific-technical conf.: Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVATION-2020). –М.: Russian State University named after A.N. Kosygina, 2020. S. 258...261.

9. Anisimov A.A. Development of an automatic temperature control system for water-heated overalls for deep-sea divers: Dis. ...cand. tech. Sciences. – М.: MGUDT, 2014.

10. Kaznacheeva A.A., Vlasenko O.M., Zakharkina S.V. Analysis of knowledge representation models in the problems of controlling the elements of active thermal protection of overalls for work in extreme conditions // Sat. scientific tr. Department of Automation and Industrial Electronics. - M.: RSU named after A.N. Kosygina, 2021. S. 57... 62.

11. Blagoveshchensky I.G., Balykhin M.G., Blagoveshchenskaya M.M., Nazoikin E.A., Logunova N.Yu. Analysis of the use of expert systems for monitoring and forecasting technological processes of production // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2021, No. 1. P.106...113.

12. Shulzhenko A.A., Modestov M.B. Woven electric heaters and the Arctic // Bulletin of Scientific and Technical Development. - No. 2 (138), 2019. P. 30 ... 40.

13. Lesnikova T.Yu., Cherunova I.V. Theoretical substantiation of the conditions of buoyancy of a person in clothes on the basis of a model representation of an object // Sat. scientific tr. II All-Russian. scientific Conf.: Scientific spring. - -2017, 2017. S. 25 ... 31

14. Vlasenko O.M. Influence of disturbing influences on the dynamic properties of the breathing mixture heater // Sat. mat. International scientific-technical conf.: Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVA-TSII-2020). - M.: RSU named after A.N. Kosygin, 2020. S.234...239.

15. Bucz S., Kozakova A. Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance. PID Control for Industrial Processes: Books. September, 2018. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.intechopen.com/chapters/62915>

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 04.10.21.