

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕСУРСА  
МНОГОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНОГО ШЛАНГА  
ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ\***

**TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASING THE WORKING LIFE  
OF MULTILAYER POLYMER HOSE CONSTRUCTION  
OF INCREASED WEAR RESISTANCE**

*М.С. МИХАЙЛОВ<sup>1</sup>, А.П. ТИТОВА<sup>2</sup>, Н.С. КАРПОВ<sup>2</sup>, С.В. ХЕЙЛО<sup>3</sup>, Э.П. САРИЕВ<sup>4</sup>*

*M.S. MIKHAILOV<sup>1</sup>, A.P. TITOVA<sup>2</sup>, N.S. KARPOV<sup>2</sup>, S.V. HAYLO<sup>3</sup>, E.P. SARIEV<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>МИРЭА – Российский технологический университет,

<sup>2</sup>Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук,

<sup>3</sup>Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

<sup>4</sup>ООО «СЕВЕРМАШ»

<sup>1</sup>MIREA – Russian Technological University,

<sup>2</sup>Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences,

<sup>3</sup>A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art),

<sup>4</sup>LLC «SEVERMASH»

E-mail: mikhailov.mms@yandex.ru

*Перистальтический насос получил широкое распространение для дозирования и транспортировки химически активных, высоковязких и абразивных сред, так как при перекачивании отсутствует контакт жидкости с внешней средой. В конструкции такого насоса главной проблемой является быстрый износ шланга, который может привести к выходу из строя всего агрегата. Целью работы является создание технологии производства шланга с увеличенным рабочим ресурсом. В исследовании приводится метод расчета рабочего ресурса, проводится анализ способов его увеличения. Конструктивные способы существенно усложняют процесс производства, поэтому для решения проблемы предложен измененный технологический способ. В предложенной схеме, в отличие от существующих, внешний слой образуется не на линии экструзии, а на участке бандаж и автоклава. Представленный способ позволяет придать поверхности однородность, создать на протяжении всей длины шланга одинаковую толщину и текстуру, тем самым увеличив его срок службы на 25-30 %.*

*The peristaltic pump is widely used for dosing and conveying chemically active, highly viscous and abrasive environment, as there is no contact between the liquid and the external medium during pumping. In the design of this pump The main problem of this pump design type is the fast wear and tear of the hose, which can lead to the failure of the entire unit. The purpose of this paper is to create a technology for the production of a hose with an increased working life. The investigation provides a method for calculating the working resource and analyzes ways to increase it. Constructive methods complicate the production process significantly, so to*

---

\*Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту № 075-11-2022-027 по теме: «Создание высокотехнологичного серийного производства перистальтических насосных агрегатов для агрессивных сред с повышенными эксплуатационными свойствами».

*solve the problem the modified technological method was proposed. In the proposed scheme, unlike the existing ones, the outer layer is formed not on the extrusion line, but on the bandage and autoclave section. The presented method makes it possible to impart uniformity to the surface, create the same thickness and texture along the entire length of the hose, avoiding deviations in thickness, thereby increasing its service life by 25-30%.*

**Ключевые слова:** шланг повышенной износостойкости, полипропилен, эластомер EPDM, рабочий ресурс, производство, автоматизация.

**Keywords:** peristaltic pump unit, wear-resistant hose, polypropylene, EPDM elastomer service life, production, automation.

### *Введение*

В промышленности одним из способов перемещения различных сред являются насосы [1-3]. Существует огромное многообразие применяемых конструкций, но не все подходят для перекачивания химически активных, высоковязких веществ и сред с инородными включениями [4]. Именно для транспортировки подобных жидкостей широкое распространение получили перистальтические насосы, отличающиеся своей герметичностью [5, 6]. Они состоят из привода, ротора, эластичного элемента (шланга), прижимных элементов (башмаков) и корпуса [7]. В конструкции насоса шланг и прижимные элементы образуют пару трения, которая способствует изнашиванию, поэтому эластичный элемент должен обладать повышенной износостойкостью [8-10].

Конструкция шланга представляет собой сочетание полимерных, а именно резиновых, слоев с армирующими элементами, которые увеличивают прочность и долговечность конструкции, позволяют выдерживать высокое давление рабочей среды, сохраняя при этом достаточную гибкость [11]. Такое строение обеспечивает высокие технические и эксплуатационные характеристики элемента. Наиболее предпочтительными материалами шланга являются EPDM-каучук, термопластичные полиолефины, термопластичные вулканизаты. В ходе производства применяются несколько технологических методов: прокладочный, навивочный, оплеточный, обмоточный и спиральный [12].

Рабочий ресурс определяется долговечностью, т.е. наработкой объекта от начала эксплуатации до наступления предельного

состояния, в качестве которого принимается предаварийное состояние [13, 14]. Его признаками является растрескивание, истирание и износ внешнего слоя [15].

Выход из строя эластичного элемента приводит агрегат в полную негодность до окончания установленного срока эксплуатации, поэтому повышение надежности и долговечности перистальтических насосов напрямую связано с увеличением рабочего ресурса шланга.

Целью работы является разработка технологии изготовления шланга повышенной износостойкости (ШПИ) с повышенным рабочим ресурсом.

### *Расчет рабочего ресурса шланга*

При оценке рабочего ресурса шланга повышенной износостойкости возможно использовать следующий описанный ниже метод в соответствии с ГОСТ 11012-2017.

Время наработки до отказа ШПИ  $T_0$  можно вычислить по формуле:

$$T_0 = \frac{\theta}{V_1 k}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – критическое значение унесенной массы, г;  $V_1$  – показатель истирания образца, г/ч;  $k = 0,011$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий условия ускоренных испытаний.

Критическое значение унесенной массы  $\theta$  можно определить через пороговое значение остаточной массы, ниже которой происходит недопустимое изменение геометрии шланга (уменьшение толщины стенки шланга), что приводит к увеличению зазора в поперечном сечении шланга и

снижению характеристик перистальтического насосного агрегата, таких как подача, КПД и др.

Показатель истирания образца  $V_1$ , г/ч, вычисляется по формуле:

$$V_1 = \frac{G - G_1}{t}, \quad (2)$$

где  $G$  – масса образца для испытания до истирания, г;  $G_1$  – масса образца для испытания после истирания, г;  $t$  – время проведения истирания, ч.

Зная время наработки до отказа экспериментального образца  $T_0$ , можно вычислить время наработки до отказа ШПИ  $T_{ШПИ}$  по формуле:

$$T_{ШПИ} = T_0 \cdot \gamma, \quad (3)$$

где  $\gamma = 0,185$  – масштабный коэффициент пропорциональности, связанный с отношением ширины образца к внешнему диаметру ШПИ.

Наработка до отказа будет считаться выдержавшей испытание, если вычисленное значение времени наработки до отказа ШПИ не меньше заданного в технических требованиях.

#### *Способы увеличения рабочего ресурса*

При необходимости увеличения рабочего ресурса возможно пользоваться двумя основными способами: конструктивным и технологическим.

Конструктивные способы увеличения рабочего ресурса основаны на модернизации конструкции шланга, что в свою очередь в существенной мере усложняет производство перистальтического насосного агрегата (ПНА). Поэтому было определено оптимальное конструктивное исполнение шланга – многослойная конструкция, состоящая из полимерного материала, армированного нейлоновым мягким кордом.

К числу технологических процессов, использование которых существенно повышает надежность и рабочий ресурс, относят:

- автоматизированные технологии всех видов;
- термообработку для снятия напряжений;

– химическую и физическую модификацию;

– неразрушающий контроль изделий.

Автоматизация технологических процессов повышает производительность оборудования, сокращает время на операции, улучшает качество и точность изготавливаемых изделий при экономичном расходовании материалов, а также позволяет осуществлять непрерывный рабочий процесс, исключая человеческий фактор.

Эффективность термической обработки зависит от температурного режима, используемого в процессе изготовления изделия. Для полимеров применяются четыре вида термической обработки, а именно закалка, отжиг, нормализация и отпуск.

Модифицирующему процессу можно подвергать как весь объем, так и только поверхностный слой резины. В результате можно получить следующие положительные результаты:

- доработка и улучшение технологии изготовления резиновых изделий;
- повышение физико-химических и физико-механических характеристик;
- увеличение долговечности и надежности изделий за счет снижения износа;
- усовершенствование методов контроля качества используемых материалов и изделий из них.

Химическая и физическая модификация резины позволяет уменьшить энергетические затраты, связанные с производством каучуков, а также снизить процентное содержание каучука в смесях за счет увеличения количества наполнителей неорганического и органического происхождения, что в свою очередь значительно ускоряет производственный процесс.

Для обеспечения стабильной и надежной работы элементов узлов машин, выполненных из резины, разработаны определенные схемы выбора материалов. На сегодняшний день существует большое количество компонентов, из которых можно изготовить резиновые смеси, в число которых входят: наполнители, активаторы, ускорители вулканизации, вулканизирующие агенты, пластификаторы и противостарители. Однако существующие комбинации

материалов не дают в полной мере возможностей решения поставленных задач, поэтому в рамках работы приводятся новые сочетания материалов.

В процессе создания состава ШПИ был определен материал основы: полимерная смесь на основе эластомера EPDM (полуфабрикат из сшитого пероксидным способом этилен-пропилен-диенового каучука). Для повышения прочностных характеристик и характеристик надежности и долговечности, стойкости к агрессивным и абразивным воздействиям в качестве модификатора выбран полипропилен. Исследованы следующие составы полимерных смесей:

1) эластомер EPDM и полипропилен PP при содержании PP от 20 до 25 %.

2) эластомер EPDM и полипропилен PP при содержании PP от 15 до 20 %,

3) материал на основе эластомера EPDM как основной эластомер, выступающий в качестве эталонного для сравнения разработанных комбинаций.

Данные сочетания повышают рабочий ресурс шлангов, т.к. обеспечивают стойкость к разрыву, истиранию и водяному пару, а также стойкость к остаточной деформации при сжатии, разбавленным кислотам, кетонам и щелочам [7, 9].

Изготавливаемые элементы конструкции перистальтического насосного агрегата с целью контроля качества должны подвергаться неразрушающему ультразвуковому контролю.

Анализатор томограмм осуществляет автоматический поиск дефектов на объектах контроля и создает FEM-совместимую (FEM – FiniteElementMethod) модель образцов с учетом обнаруженных дефектов. Данный метод позволяет:

– обнаруживать дефекты на томограммах для последующей оценки специалистом в части критичности;

– создавать трехмерную модель образца с учетом найденных дефектов;

– экспортировать модель объекта контроля в FEM-совместимом формате.

Метод конечных элементов является численным методом приближенного решения физических задач, с помощью которого

происходит более детальное исследование образцов.

*Описание технологического метода увеличения рабочего ресурса ШПИ*

Основной целью технологического метода увеличения рабочего ресурса является повышение качества заготовок ШПИ и применение современных автоматизированных процессов производства шлангов, в том числе связанных с совмещением технологических процессов, когда на одной производственной линии выполняется сразу несколько технологических операций, включая вулканизацию основных материалов, намотку армирующего слоя и т.д.

Применение автоматизированных процессов производства шлангов с совмещением технологических процессов имеет следующие преимущества:

- повышение производительности;
- улучшение качества продукции;
- непрерывность рабочего процесса;
- снижение количества брака.

Повышение скорости взаимодействия всех автоматизированно управляемых механизмов влияет на рост производительности, точность и стабильность производства, а также на качество продукции. Повышаются такие показатели, как надежность, долговечность и рабочий ресурс шланга, за счет отсутствия человеческого фактора.

Технологический процесс получения разрабатываемой многослойной конструкции ШПИ должен включать следующие последовательные операции:

– подготовительные операции, обеспечивающие подготовку основных конструкционных материалов для осуществления процесса получения конструкции ШПИ;

– вспомогательные операции, предназначенные для подготовки вспомогательного оборудования и материалов для дальнейшего осуществления процесса оплетки и армирования;

– основные операции, включающие в себя экструзию конструкционного материала, оплетку армирующего слоя, наложение сквиджа, вулканизацию полученной заготовки и процесс охлаждения и выбивки оснастки (дорна).

Процесс подготовки конструкционных материалов включает в себя:

- перемотку нитей армирующего слоя на шпули в катушках (стандартная заимствованная операция), которая осуществляется на тростильных станках;

- пропитку армирующего нейлонового волокна, которую предлагается осуществлять смесью латексов с резорцинформальдегидной смолой, для обеспечения большей адгезии, сцепления и склейки с внутренними и внешними слоями ШПИ.

*Схема автоматизированной линии для производства шланга*

Обычно производственная линия шлангов включает в себя следующие участки: зону начальной экструзии, на которой происходит экструдирование внутреннего слоя на дорн, зону плетения армирующего слоя на начальный слой (получение полуготового шланга), зону формирования путем экструдирования покровного (внешнего) слоя и зону извлечения дорна. С помощью вакуумного насоса внешний слой, представляющий форму кольца с толстой стенкой, прижимается к заготовке шланга, повышается адгезия между слоями и заполняются промежутки на промежуточной поверхности.

К недостаткам данного способа изготовления можно отнести высокий расход материала внешнего слоя, заполняющего зазоры промежуточного слоя, а также необходимость при производстве качественной продукции создания высокого разряжения для прижатия к заготовке шланга кольцевого элемента.

Для повышения технологичности процесса получения многослойной конструкции ШПИ и увеличения рабочего ресурса разработана технологическая схема изготовления, за основу которой взята производственная линия рукава высокого давления. Рассмотренная линия является автоматизированной и включает в себя следующие участки: 1 – подготовительный, 2 – экструзии, 3 – оплетки, 4 – банджа, 5 – автоклав, 6 – выбивки дорна, формирования готовой продукции и тестирования (рис. 1 – схема последовательной автоматизированной линии производства шланга).

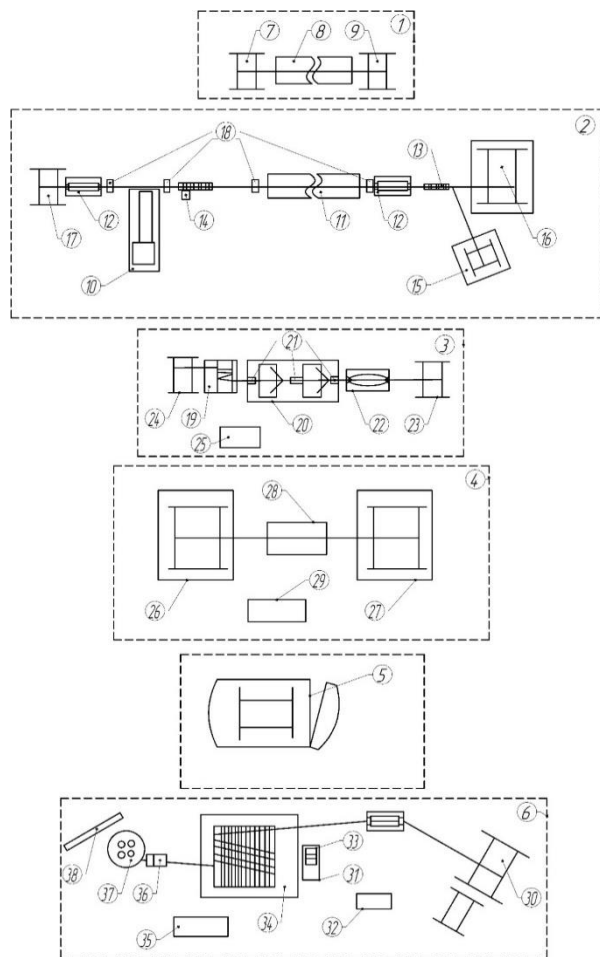


Рис. 1

На участке 1 происходит подготовка дорна, присутствует разматывающее устройство 7, узел нанесения разделительного средства на дорн 8, устройство намотки 9.

Узел 8 – бак или аналогичная емкость с насосом, обеспечивающим циркуляцию разделительного средства. Схема работы узла следующая: смазка, предварительно залитая в бак, по трубке циркулирует над дорном, таким образом обеспечивая смазку дорна.

На участке 2 присутствует экструдер для EPDM 10, ванна для охлаждения 11, устройство для транспортирования 12, рольганг 13, лазерный принтер 14, устройство для намотки, относящееся к технологическому барабану 15, устройство для намотки, относящееся к барабану вулканизации 16, устройство для размотки 17, измерительные головки в количестве четырех штук для контроля диаметров шлангов 18.

Участок оплетки 3 состоит из холодильника 19, машины для оплетки 20, оборудо-

вания для размещения среднего слоя сквида 21, транспортера 22, устройства для намотки 23, устройства, позволяющего проводить разматывающие операции, 24. На описанном участке в машину для оплетки 20 на шпулях с машины 25 подается заранее подготовленная проволока для перемотки армирующего слоя.

На участке бандажа 4 расположено устройство, позволяющее производить как наматывающие 26, так и разматывающие 27 операции, машина для бандажа 28, оборудование, проводящее подготовительные операции с лентой, 29.

На участке выбивки дорна 6 происходит формирование готовой продукции и тестирование. Данный участок включает в себя устройство для размотки, относящееся к вулканизационному барабану, 30; зону выпрессовки водяную 31, машину спайки дорна 32, пресс зажимной 33, барабаны в количестве двух штук 34, станцию насосную 35, счетчик метража 36, намоточный стол для бухт 37 и тельфер для снятия бухт 38.

Таким образом, в разработанной схеме, в отличие от существующих, внешний слой образуется не на линии экструзии, а на участке бандажа и автоклава. Представленный способ позволяет придать поверхности однородность, создать на протяжении всей длины шланга одинаковую толщину и текстуру, тем самым увеличив его срок службы на 25-30 %.

#### *Результаты и обсуждения*

Можно сформулировать следующие рекомендации по технологии изготовления ШПИ:

1. Процесс очистки и обработки дорна (для увеличения производительности рекомендуется использовать гибкий дорн) следует осуществлять мягкими войлочными тканями, мягкими щетками и обезжиривать эмульсионными полисилоксановыми обезжиривателями.

2. Процесс экструзии необходимо проводить на двухшнековом экструзионном оборудовании, позволяющем непрерывно выполнять процесс экструдирования. Немалозначимое преимущество данного оборудования заключается в простоте управления процессом за счет поддержания

требуемой величины давления и температурного режима, а также скорости выдавливания резиновой смеси через профилирующую шайбу. Применение разработанных составов полимерных смесевых термоэластопластов позволяет добиться повышения таких параметров, как удельная прочность, жесткость, износостойкость и усталостная прочность, увеличивает эластичность, упругость и химическую стойкость разрабатываемой конструкции ШПИ. Использование при производстве шлангов новых комбинаций термопластичных эластомеров ТРЕ и термоэластопластов на основе термопластичных полиолефинов ТРО (полимерная смесь на основе эластомера EPDM и полипропилена PP) позволяет шлангу выдерживать многократное сжатие и расширение.

3. Переработку EPDM+PP рекомендуется начинать при температуре, большей либо равной 100 °С. Далее вводится вулканизующая группа при высокой температуре, в результате чего происходит сшивание каучука. Затем идет процесс листования при температуре выше на 5-15 °С, после чего следует процесс грануляции при температуре 130-180 °С.

4. После экструзии для исключения возможных изменений геометрии и угла намотки армирующего слоя предлагается проводить охлаждение заготовки шланга в ванне с холодной водой.

5. Процесс оплетки армирующего слоя следует осуществлять по разработанной схеме армирования с равнопрочным углом армирования, равным  $\pm 45^\circ$ , на шпульной оплеточной машине. Для повышения адгезии намотанных слоев армирующего материала и увеличения упругих свойств конструкции ШПИ рекомендуется каждый слой армирующего материала проклеивать сквиджем на основе используемого конструкционного материала (в зависимости от исполнения EPDM/TPV/ТРО).

6. Процессы наложения и снятия бандажа осуществляются на одном и том же оборудовании (стандартном) при подготовке заготовки к вулканизации и после процесса охлаждения.

7. Процесс вулканизации (заимствованный процесс) необходимо проводить в автоклаве, предварительно разместив на транспортировочной траверсе несколько заготовок ШПИ.

8. Процесс выбивки дорна следует осуществлять непрерывным процессом с водяной выпрессовкой дорна, намоткой бухт и тельфер для снятия заготовки ШПИ.

9. Процесс выходного контроля готового изделия предлагается осуществлять методами неразрушающего контроля, при этом необходимо провести оценку рабочего ресурса экспериментальным методом.

Изложенная схема производства многослойной конструкции не является единственной и может иметь альтернативы. Для опытной технологической оценки эффективности представленной схемы изготовлен экспериментальный образец и проведена оценка наработки до отказа образца. Она составила 184,26 часа, в то время как наработка до отказа существующих на сегодняшний день шлангов составляет в среднем 135 часов.

## ВЫВОДЫ

В результате работы рассмотрен метод оценки рабочего ресурса ШПИ и различные способы его увеличения. На основе приведенного анализа разработана и представлена технологическая схема изготовления шланга повышенной износостойкости с увеличенным рабочим ресурсом перистальтического насосного агрегата.

Используя технологические рекомендации, представленные в данной работе, планируется организовать производственную линию шлангов многослойной конструкции с повышенной износостойкостью с увеличенным на 25-30 % временем наработки до отказа в сравнении с существующими за счет представленной технологии создания внешнего слоя шланга.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Габдулов И.Н. Классификация и основные параметры объемных насосов // 2019. № 25(74). С. 12...15.

2. Габдулов И.Н. Классификация и основные параметры динамических насосов // Аллея науки. 2019. Т. 1, № 9(36). С. 129...131.

3. Асфар Д.Б., Михайлова А.А., Худайбердина А.Р. Принцип работы тепловых насосов и их классификация // *CognitioRerum*. 2022. № 2. С. 11...15.

4. *Sadjiadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports*. 2023. V. 9, № 3. P. 386. – DOI: 10.1016/B978-0-08-101099-0.00008-2

5. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. V. 326. – DOI: 10.1016/j.sna.2021.112602

6. *Jönsson A., Toppi A., Dufva M.* The FAST Pump, a low-cost, easy to fabricate, SLA-3D-printed peristaltic pump for multi-channel systems in any lab // *Hardware X*. 2020. V. 8. – DOI: 10.1016/j.ohx. 2020.e00115.

7. Гришин А.И., Лепешкин А.В. Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия // *Известия МГТУ МАМИ*. 2021. Т. 15, № 4. С. 9...17.

8. *Saunier J., Yagoubi N.* Investigating the static or dynamic flexural and compressive stresses on flexible tubing: Comparison of clamp and peristaltic pump impact on surface damages and particles leaching during infusion acts // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021. V. 123. – DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104737.

9. Гришин А.И. Повышение эффективности эксплуатации перистальтического насоса линейного типа // *Известия МГТУ МАМИ*. 2020. № 4(46). С. 17.

10. *Saunier J., Khzam A., Yagoubi N.* Impact of mechanical stress on flexible tubing used for biomedical applications: Characterization of the damages and impact on the patient's health // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022. V. 136. – DOI: 10.1016/j.jmbbm.2022.105477.

11. *Traxl R., Mungenast D., Schennach O., Lackner R.* Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model // *International Journal of Engineering Science*. 2019. V. 141. P. 47...66.

12. Зуев А.В. Усовершенствование технологии изготовления шлангов наливной горловины пониженной топливопроницаемости // *Пластические массы*. 2009. №1. С.24...26.

13. Михеев А.Ю. Увеличение ресурса работы перистальтического шлангового насоса // *Материалы 54-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. тез. докл. Уфа: Изд-во УГНТУ*. 2003. С. 194...195.

14. Александров И.А., Муранов А.Н., Михайлов М.С. Разработка алгоритма автоматизированной оценки работоспособности конструктивных элементов запорной арматуры // *Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» (IT&QM&IS–2021)*. Ярославль: ГАПМ, 2021. С. 257...261.

15. *Vereschaka A., Milovich F., Andreev N., Sotova C., Alexandrov I., Muranov A., Mikhailov M., Tatarkanov A.* Investigation of the structure and phase composition of the microdroplets formed during the deposition of PVD coatings // *Surface and Coatings*

#### REFERENCES

1. *Gabdulov I.N.* Classification and main parameters of positive displacement pumps // 2019. № 25(74). P. 12...15.
2. *Gabdulov I.N.* Classification and main parameters of dynamic pumps // Alley of Science. 2019. V. 1, № 9(36). P. 129...131.
3. *Asfar D.B., Mikhailova A.A., Khudaiberdina A.R.* Principle of operation of heat pumps and their classification // *Cognitio Rerum*. 2022. № 2. P. 11...15.
4. *Sadjjadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports*. 2023. V. 9, № 3. P. 386...394. – DOI: 10.1016/B978-0-08-101099-0.00008-2.
5. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. V. 326. – DOI:10.1016/j.sna.2021.112602
6. *Jönsson A., Toppi A., Dufva M.* The FAST Pump, a low-cost, easy to fabricate, SLA-3D-printed peristaltic pump for multi-channel systems in any lab // *Hardware X*. 2020. V. 8. – DOI:10.1016/j.ohx. 2020.e00115.
7. *Grishin A. I., Lepeshkin A. V.* Investigation of the existing designs of pumps of peristaltic principle of action // *Izvestiya MSTU MAMI*. 2021. V. 15, № 4. P. 9...17.
8. *Saunier J., Yagoubi N.* Investigating the static or dynamic flexural and compressive stresses on flexible tubing: Comparison of clamp and peristaltic pump impact on surface damages and particles leaching during infusion acts // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021. V. 123. – DOI:10.1016/j.jmbbm.2021.104737.
9. *Grishin A.I.* Increase of operation efficiency of a peristaltic pump of linear type // *Izvestia MSTU MAMI*. 2020. № 4(46). P. 17.
10. *Saunier J., Khzam A., Yagoubi N.* Impact of mechanical stress on flexible tubing used for biomedical applications: Characterization of the damages and impact on the patient's health // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2022. V. 136. – DOI:10.1016/j.jmbbm.2022.105477
11. *Traxl R., Mungenast D., Schennach O., Lackner R.* Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model // *International Journal of Engineering Science*. 2019. V. 141. P. 47...66. – DOI:10.1016/j.ijengsci.2019.05.006
12. *Zuev A.V.* Improvement of the technology of manufacturing of the filler neck hoses of reduced fuel permeability // *Plastic Masses*. 2009. №1. Pp. 24...26.
13. *Mikheev A.Yu.* Increase of peristaltic hose pump operation resource // *Materials of the 54th scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists: Collection of abstracts*. Ufa: UGNTU Publishing House. 2003. Pp. 194...195.
14. *Aleksandrov I.A., Muranov A.N., Mikhailov M.S.* Development of an algorithm for automated assessment of the performance of structural elements of valves // *Quality management, transport and information security, information technology (IT&QM&IS)*. Yaroslavl, 2021, Pp. 257...261.
15. *Vereschaka A., Milovich F., Andreev N., Sotova C., Alexandrov I., Muranov A., Mikhailov M., Tatarkanov A.* Investigation of the structure and phase composition of the microdroplets formed during the deposition of PVD coatings // *Surface and Coatings Technology*. 2022. Vol. 441. P. 128574. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2022.128574.

Рекомендована ученым советом Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук. Поступила 13.09.23.