

## МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ШЛАНГОВ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ С ТЕКСТИЛЬНЫМ КОРДОМ\*

### METHODS OF FIBRE-REINFORCED MULTI-LAYER COMPOSITE HOSES WITH TEXTILE CORD MANUFACTURING

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

M.S. MIKHAILOV<sup>1, 2</sup>, A.P. TITOVA<sup>1</sup>, S.V. KHEILO<sup>3</sup>, E.P. SARIEV<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Институт конструкторско-технологической информатики РАН,

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

<sup>4</sup>ООО "СЕВЕРМАШ")

<sup>1</sup>RTU MIREA,

<sup>2</sup>IDTI RAS,

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

<sup>4</sup>ООО "SEVERMASH")

E-mail: mikhailov.mms@yandex.ru

*На сегодняшний день насосные агрегаты получили широкое распространение во многих областях промышленности. В сферах, где необходима транспортировка жидких сред в изолированных условиях или нужно обеспечить их дозирование, применяются перистальтические насосные агрегаты. Конструкция такого насосного агрегата предоставляет возможность для перекачивания и дозировки различных сред с сохранением их физико-химических свойств. Актуальной проблемой перистальтических насосов является износ эластичного элемента, так как при работе шланг и прижимные элементы образуют пару трения, что приводит к быстрому изнашиванию данных конструктивных элементов. В связи с этим целью настоящей работы является определение оптимального технологического метода изготовления шланга повышенной износостойкости (ШПИ) для перистальтического насоса. В работе представлен анализ существующих на данный момент способов изготовления шлангов, на основе которого разработаны рекомендации по изготовлению ШПИ, позволяющие продлить срок службы перистальтического насосного агрегата.*

*Pumps are now widely used in many areas of industry. In areas where it is necessary to transport liquid media in isolated conditions or where their dosing needs to be ensured, peristaltic pumping units are used. The design of the pump enables it to pump and dispense various media while maintaining their physical and chemical properties. The actual problem of peristaltic pumps is the wear and tear of elastic elements, because during operation the hose and clamping elements form a friction pair, which leads to fast wear and tear of these elements. The aim of the*

---

\*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».

*work is to determine the optimal technological method of manufacturing a hose with increased abrasion resistance. The paper presents an analysis of the currently existing methods of manufacturing hoses, on the basis of which recommendations for the manufacture of hose with increased abrasion resistance were developed, allowing to prolong the service life of the pump as a result.*

**Ключевые слова:** перистальтический насосный агрегат, шланг с повышенной износостойкостью, шланг, вулканизация, технология изготовления шланга.

**Keywords:** peristaltic pumping unit, peristaltic pump, hose with increased abrasion resistance, hose, vulcanizing, hose technology.

### *Введение*

В настоящее время насосы получили широкое применение [1, 2]. Их используют для транспортировки различных сред практически во всех областях промышленности [3-5]. Выбор применяемого насоса зависит от состава транспортируемой среды. Для перекачивания лекарств, растворов, химически активных, вязких и абразивных сред наиболее подходящим является перистальтический насосный агрегат (ПНА) [6-7]. Он состоит из опорной рамы, электродвигателя, узла крепления, перистальтического насоса и панели управления [8]. Главным преимуществом ПНА является отсутствие контакта среды с конструктивными элементами насоса [9, 10]. Помимо достоинств он имеет и недостатки, главным из них является износ эластичного элемента [11]. Именно поэтому требуется разрабатывать шланги повышенной износостойкости.

ШПИ должен выдерживать высокое давление, создаваемое рабочей средой, многократное сжатие и расширение, при этом сохранять свойство гибкости [12]. Достигается это путем подбора материала и технологии изготовления.

ШПИ можно изготавливать различными методами: прокладочный, навивочный, оплеточный, обмоточный и спиральный. Технология изготовления состоит из следующих этапов:

– подготовительные операции, включающие в себя подготовку основных конструктивных материалов для осуществления процесса получения конструкции ШПИ;

– вспомогательные операции, предназначенные для подготовки вспомогательного оборудования и материалов для дальнейшего осуществления процесса оплетки и армирования (металлической или текстильной нитью) [13];

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

Соблюдение данной технологии позволяет увеличить рабочий ресурс шланга.

В работе определяется технология изготовления многослойной конструкции ШПИ, предназначенного для использования в ПНА, позволяющая увеличить долговечность шланга.

*Описание технологических процессов изготовления шланга*

В зависимости от конструкции шланги изготавливают на дорне, без дорна, а также на гибком дорне.

Дорн представляет собой металлический цилиндр, на котором производится изготовление, сборка и вулканизация изделий из резин. Дорновый способ при изготовлении многослойных шлангов применяют в том случае, когда имеются высокие требования к точности размеров.

Получение шлангов на гибких дорнах позволяет изготавливать шланги, длина которых может составлять до 250 м.

Бездорновый способ позволяет изготавливать шланги неограниченной длины.

Технология изготовления шлангов разделяется на следующие основные виды технологических процессов:

1. Прокладочный процесс получения шланга.

Процесс получения конструкции ШПИ осуществляется преимущественно дорновым способом, в котором конструкция шланга состоит из резиновых и силовых слоев в виде ткани, пропитанной резиной и нарезанной под углом  $45^\circ$  (рис. 1 – общий вид шланга прокладочной конструкции).

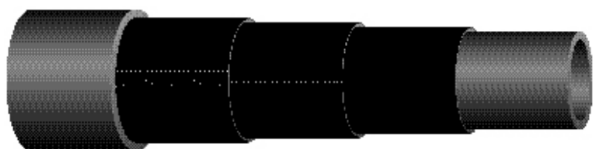


Рис. 1

К недостаткам прокладочных шлангов относится: необходимость использования в качестве армирующего слоя подготовленных армирующих тканей, неполное использование прочностных свойств ткани, увеличение диаметра и укорочение шланга под давлением, меньшая гибкость, больший вес в сравнении со шлангами оплеточной конструкции.

2. Навивочный процесс получения шланга.

Изготовление шланга осуществляется бездорновым способом. Конструкция такого шланга состоит из попарно навитых слоев резины и металлических или текстильных нитей (рис. 2 – общий вид шланга навивочной конструкции). Внутренний слой шланга формируют отдельно, предварительно подвулканизовывая, для предотвращения продольной и радиальной деформации внутреннего слоя и прорезания его стенок нитями при навивке.



Рис. 2

Данные шланги хорошо воспринимают динамические нагрузки, так как не имеют переплетений, ввиду этого также исключается возможность перетираания силовых элементов. Это особенно важно при использовании в качестве силовых элементов проволоки.

Однако использование подобной технологии является сложным дорогостоящим технологическим процессом, требующим точности и строгой синхронизации скоростей движения внутреннего слоя.

3. Оплеточный процесс получения шланга.

Получение шлангов оплеточной конструкции может осуществляться на гибком дорне, а также дорновым и бездорновым способом. Силовой каркас такого шланга состоит из одной или нескольких оплеток из текстильных или металлических нитей, наложенных под постоянным углом  $45^\circ$ . Между оплетками вводится промежуточный сквидж для повышения адгезионной прочности и упругих свойств. По сравнению со шлангами навивочной конструкции при одинаковой прочности на изготовление ШПИ методом оплетки расходуется на 30% меньше армирующих материалов, также такой шланг получается более гибким. Общий вид шланга оплеточной конструкции представлен на рис. 3.

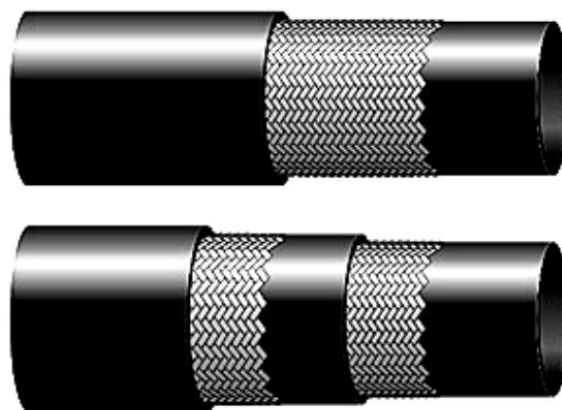


Рис. 3

В шлангах двухоплеточной конструкции прочность каждой оплетки по отдельности составляет половину прочности однооплеточного шланга. Преимуществом данной конструкции является то, что при по-

явлении просвета между потоками нитей в одном слое дефект вряд ли повторится во втором слое в том же месте.

Выбор данной технологии обусловлен конструкцией разрабатываемого шланга. Технология оплетки является наиболее подходящей и имеет множество преимуществ:

- можно выполнять несколько оплеток и другие операции сборки шланга на одном потоке;

- шланги более гибкие и имеют меньшую массу, т. к. состоят из одного-трех ниток оплетки;

- изготовление шланга на гибком дорне позволяет получать длинные шланги без отклонения от заданных параметров по всей длине.

4. Обмоточный процесс получения шланга.

Обмоточные шланги изготавливаются дорновым способом.

Для получения ШПИ технологическим процессом обмотки для повышения жесткости и упругости шланга необходимо использовать металлическое армирование. Это обусловлено тем, что шланги, изготавливаемые методом обмотки, обычно имеют два противоположно направленных слоя обмотки из обрезиненной слабоуточной или безуточной ткани (чаще всего разреженной). Для повышения адгезионных свойств спирали и основного полимерного материала внутреннего и внешнего слоя используют клеящий сквидж (рис. 4 – общий вид шланга обмоточной конструкции).

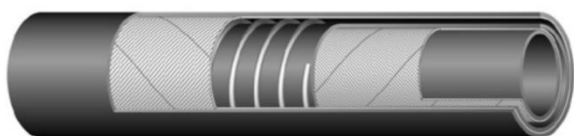


Рис. 4

Однако, несмотря на промежуточный склеивающий слой, такая конструкция является ненадежной из-за слабой адгезии металла и основного материала внешнего и внутреннего слоя. Также применение силового металлического армирования для поддержания прочностных характеристик

не соответствует требованиям, предъявляемым к конструкции ШПИ, и не позволяет использовать такую конструкцию в устройстве ПНА.

5. Спиральный процесс получения шланга.

Спиральная намотка осуществляется дорновым способом. Технологический процесс получения шлангов методом спиральной намотки подразумевает использование проволочной спирали, которая предохраняет от деформации шланг при действии местных нагрузок (рис. 5 – общий вид шланга спиральной конструкции).

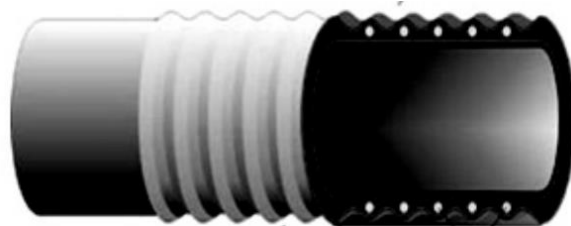


Рис. 5

Использование более тонкой проволоки для изготовления спирали делает шланг более гладким и изгибостойким. Для изготовления спирали применяют стальную проволоку без покрытия или оцинкованную проволоку диаметром от 0,6 до 6 мм. Длина шланга не превышает 20 м, так как его можно изготавливать только на жестких дорнах.

При любом технологическом методе изготовления шланга завершающим процессом является вулканизация в автоклаве.

Процесс вулканизации периодический, состоит из следующих этапов: загрузки аппарата, закрытия крышки, повышения температуры и давления в автоклаве, далее происходит выдержка изделий при постоянной температуре, снижение давления, открытие крышки и выгрузка изделий.

При данном методе дорны с забинтованными шлангами укладывают в котловые тележки и загружают в автоклав. Напуск пара производится одновременно в четырех местах, это нужно для обеспечения равномерного прогрева котла. Время полного цикла зависит от характеристик

шланга и температурных параметров процесса и составляет около 1,5 часа.

Недостаток данного метода (неравномерность распределения температуры в котле) нивелируется установкой змеевиков, которые обеспечивают прогрев боковых и нижних сторон.

Благодаря данному процессу значительно улучшаются физико-механические свойства шланга, повышается способность к сохранению эластичности при воздействии широкого диапазона температур. Применительно к разрабатываемой конструкции ШПИ наиболее подходящим является использование гибкого дорна, что увеличивает эффективность производства.

#### *Результаты и обсуждения*

Результатами данной работы являются рекомендации по получению многослойной конструкции ШПИ.

В качестве основы для производства конструкции ШПИ, состоящей из внутреннего и внешнего слоя, армированной нейлоновым кортом со связующим материалом сквиджа, выбран технологический процесс оплетки, включающий в себя:

#### 1. Подготовительные операции:

– пропитка армирующего нейлонового волокна (корда) смесью латексов с резорцинформальдегидной смолой для обеспечения большей адгезии, сцепления и склейки с внутренними и внешними слоями ШПИ;

– перемотка нитей корда на шпули в катушки на тростильных станках для дальнейшей намотки на заготовку внутреннего слоя ШПИ.

#### 2. Вспомогательные операции:

– очистка и обработка дорна от загрязнений для дальнейшего нанесения внутреннего слоя ШПИ из полимерного конструкционного материала;

– приготовление эмульсии полисилоксановой жидкости для обработки дорна перед нанесением внутреннего слоя.

#### 3. Основные операции:

– экструзия внутреннего слоя заготовки ШПИ на дорн с помощью червячных машин холодного питания с удлиненным червяком и вакуум-отсосов;

– охлаждение внутреннего слоя для обеспечения равномерной последующей оплетки армирующим слоем;

– оплетка армирующего слоя нейлоновым подготовленным волокном методом оплетки под углом  $\pm 45^\circ$  посредством шпульной оплеточной машины;

– наложение сквиджа из полимерного конструкционного материала основы заготовки ШПИ на каждый слой армирующего нейлонового волокна;

– экструзия внешнего слоя на заготовку ШПИ с помощью червячных машин холодного питания с удлиненным червяком и вакуум-отсосов;

– наложение бандажа на внешний слой заготовки ШПИ для последующего проведения вулканизации заготовок;

– вулканизация заготовок ШПИ;

– охлаждение заготовок ШПИ в холодной воде в течение 10-20 минут;

– снятие бандажа с заготовок ШПИ;

– разбандажирование заготовок ШПИ на разбинтовочном станке для последующего извлечения дорна;

– извлечение дорна из заготовки ШПИ.

Процесс вулканизации заготовок ШПИ включает в себя следующие операции:

– установка заготовок на транспортировочную траверсную тележку в 4-5 рядов;

– разогревание автоклава до температуры 135-140 °С для последующей вулканизации заготовок ШПИ;

– установка траверсной тележки с заготовками ШПИ в автоклав для последующей вулканизации;

– закрытие автоклава и подача горячего пара во внутреннюю полость вулканизационного котла при помощи парораспределительной трубы автоклава;

– выдержка заготовок шланга в автоклаве для вулканизации ШПИ при температуре 143-151 °С;

– извлечение заготовок ШПИ из автоклава.

## В Ы В О Д Ы

Проведен анализ существующих методов изготовления шлангов. Сформированы рекомендации по технологии изготовления

многослойной конструкции ШПИ. Данная технология позволяет производить шланги с увеличенной долговечностью и обеспечить равнопрочность конструкции, тем самым повышая рабочий ресурс всей конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Esin A.* Transportation and metering of fluids // *Transporting Operations of Food Materials Within Food Factories.* 2023. P. 97...154.

2. *Ивличева Е.А.* Основные сведения о насосах. Классификация насосов // *Наука через призму времени.* 2019. № 4(25). С. 14...15.

3. *Xiao S., Nefodov D., Richter M., Wördemann M., Urbaneck T.* Large heat pumps with hot water store in local heating systems – Investigation of operation strategies // *Journal of Energy Storage.* 2023. V. 63.

4. *Sadjjadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports.* 2023. V. 9. P. 386...394.

5. *Haller T., Beuntner N., Gutsch H., Thienel K.-C.* Challenges on pumping infra-lightweight concrete based on highly porous aggregates // *Journal of Building Engineering.* 2023. V. 65.

6. *Davis J.J., Padalino M., Kaplitz A.S., Murray G., Foster S.W., Maturano J., Grinias J.P.* Utility of low-cost, miniaturized peristaltic and Venturi pumps in droplet microfluidics // *Analytica Chimica Acta.* 2021. V. 1151.

7. *Ухачев К.С., Беляев С.Д., Свердлик А.А., Панкратов А.Н., Адамович Б.А., Шимко Ю.Н., Миняев М.В., Устюгов В.А.* Технологии дозации химических реагентов // *Водоочистка.* 2021. № 10. С. 18...21.

8. Пат. 387138 Союз Советских Социалистических Республик. Насос перистальтического типа. № 1637203/24-6; заявл. 22.03.71; опубл. 21.06.73.

9. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical.* 2021. V. 326.

10. *McIntyre M.P., van Schoor G., Uren K.R., Kloppers C.P.* Modelling the pulsatile flow rate and pressure response of a roller-type peristaltic pump // *Sensors and Actuators A: Physical.* 2021. V. 325.

11. *Гришин А.И., Лепешкин А.В.* Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия // *Известия МГТУ «МАМИ».* 2021. № 4(50). С. 9...17.

12. *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.

13. *Козлова О.В., Якунин Н.А., Конищева М.В.* Улучшение эксплуатационных свойств полиамидных нитей нанесением полимеров-модификаторов

// *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2007. № 5(301). С. 41...44.

#### REFERENCES

1. *Esin A.* Transportation and metering of fluids // *Transporting Operations of Food Materials Within Food Factories.* 2023. P. 97...154.

2. *Ivlicheva E.A.* Basic information about pumps. Classification of pumps // *Science through the prism of time.* 2019. № 4(25). P. 14...15.

3. *Xiao S., Nefodov D., Richter M., Wördemann M., Urbaneck T.* Large heat pumps with hot water store in local heating systems – Investigation of operation strategies // *Journal of Energy Storage.* 2023. V. 63.

4. *Sadjjadi B.S., Gerdes J.-N., Sauer A.* Energy flexible heat pumps in industrial energy systems: A review // *Energy Reports.* 2023. V. 9. P. 386...394.

5. *Haller T., Beuntner N., Gutsch H., Thienel K.-C.* Challenges on pumping infra-lightweight concrete based on highly porous aggregates // *Journal of Building Engineering.* 2023. V. 65.

6. *Davis J.J., Padalino M., Kaplitz A.S., Murray G., Foster S.W., Maturano J., Grinias J.P.* Utility of low-cost, miniaturized peristaltic and Venturi pumps in droplet microfluidics // *Analytica Chimica Acta.* 2021. V. 1151.

7. *Ukhachev K.S., Belyaev S.D., Sverdlikov A.A., Pankratov A.N., Adamovich B.A., Shimko Yu.N., Minyaev M.V., Ustyugov V.A.* Chemical dosing technologies // *Vodoochistka.* 2021. № 10. С. 18...21.

8. Pat. 387138 Union of Soviet Socialist Republics. Pump peristaltic type. № 1637203/24-6; app. 22.03.71; publ. 21.06.73

9. *Forouzandeh F., Arevalo A., Alfadhel A., Borkholder D.A.* A review of peristaltic micropumps // *Sensors and Actuators A: Physical.* 2021. V. 326.

10. *McIntyre M.P., van Schoor G., Uren K.R., Kloppers C.P.* Modelling the pulsatile flow rate and pressure response of a roller-type peristaltic pump // *Sensors and Actuators A: Physical.* 2021. V. 325.

11. *Grishin A.I., Lepeshkin A.V.* Study of existing designs of peristaltic pumps // *Izvestiya MSTU «МАМИ».* 2021. № 4(50). P. 9...17.

12. *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.

13. *Kozlova O.V., Yakunin N.A., Konycheva M.V.* Improving the operational properties of polyamide yarns by applying modifier polymers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2007. № 5(301). P. 41...44.

Рекомендована ИКТИ РАН. Поступила 06.07.23.