

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВЕЛИЧИНЫ ВНУТРЕННИХ РАЗРЫВНЫХ ДАВЛЕНИЙ

А.Е. Арипчаева, Ж.У. Мырхалыков, Р.Т. Калдыбаев, О.И. Койфман, Ю.М. Базаров,
С.М. Степанова, С.Г. Степанов

Акерке Еркосаевна Арипчаева

Кафедра технология и проектирование текстильных материалов, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, проспект Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан, 160012

Жумахан Ушкempiрович Мырхалыков

НИИ Инновации и технологической модернизации, ул. Токаева, 27, Шымкент, Казахстан, 160012

Рашид Турдыбаевич Калдыбаев

Кафедра технологии и конструирование изделий легкой промышленности, Южно-Казахстанский Государственный университет им. М. Ауезова, проспект Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан, 160012

Оскар Иосифович Койфман, Юрий Михайлович Базаров

Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

Светлана Михайловна Степанова

Кафедра экономики и прикладной информатики, Ивановский филиал Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, ул. Дзержинского, 53, Иваново, 153025

Сергей Гаевич Степанов *

Кафедра мехатроники и радиоэлектроники, Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: step-sg@mail.ru*

В статье предложена методика экспериментальных исследований зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах напорных пожарных рукавов с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV и методов статистики, на основе которой были определены коэффициенты вертикального смятия нитей, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка, учет которых необходим для более точного определения разрывных давлений в напорных пожарных рукавах. Разрывное давление регламентируется ГОСТ Р 51049-97 и является важным прочностным параметром напорного пожарного рукава, характеризующим его способность сопротивляться разрушению под воздействием внутреннего гидравлического давления жидкости для пожаротушения. Исследовано влияние таких параметров тканого армирующего каркаса из полиэфирных нитей на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ), как разрывное усилие уточных нитей (нитей, проложенных по окружности рукава), радиус рукава, геометрические плотности по основе и утку, коэффициенты вертикального смятия и диаметры нитей основы и утка, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка на величину разрывного давления в латексированном напорном пожарном рукаве производства ПО «БЕРЕГ», рассчитанного на рабочее давление 1,6 МПа. В результате выполненного исследования установлено: разрывное давление напорного пожарного рукава существенно зависит от геометрических плотностей по основе и утку ткани армирующего каркаса (при увеличении (уменьшении) геометрических плотностей расчетное разрывное давление рукава падает (возрастает)); разрывное давление рукава прямо пропорционально разрывному усилию уточных нитей и обратно пропорционально радиусу напорного пожарного рукава при постоянстве всех других его параметров, причем зависимость разрывного давления от

этих параметров существенна; с увеличением таких параметров тканого армирующего каркаса напорного пожарного рукава как диаметры нитей основы и утка, их вертикальное смятие, длины зон контакта между нитями, разрывное давление возрастает, что указывает на необходимость учета этих параметров при прочностном расчете тканых армирующих каркасов пожарных рукавов. Результаты проведенного исследования необходимо учитывать при проектировании новых видов этих технических изделий.

Ключевые слова: пожарный напорный рукав, тканый армирующий каркас, разрывное внутреннее гидравлическое давление, методика экспериментальных исследований зон контакта между нитями

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF WOVEN REINFORCING FRAMES OF PRESSURE FIRE HOSES AND THEIR INFLUENCE ON VALUES OF INTERNAL BURSTING PRESSURES

A.E. Aripbaeva, Zh.U. Mirkhalykov, R.T. Kaldybaev, O.I. Koyfman,
Yu.M. Bazarov, S.M. Stepanova, S.G. Stepanov

Akerke E. Aripbaeva

Department of Technology and Design of Textile Materials, South Kazakhstan State University named after M. Auezova, Tauke Khan ave., 5, Shymkent, 160012, Kazakhstan

Zhumahan U. Mirkhalykov

Research Institute of Innovation and Technological Modernization, Tokaeva st., 27, Shymkent, 160012, Kazakhstan

Rashid T. Kaldybaev

Department of Technology and Design of Light Industry Products, South Kazakhstan State University named after M. Auezova, Tauke Khan ave., 5, Shymkent, 160012, Kazakhstan

Oscar I. Koyfman, Yuri M. Bazarov

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

Svetlana M. Stepanova

Department of Economics and Applied Informatics, Ivanovo Branch of REU named after G.V. Plekhanov, Dzerzhinsky st., 53, Ivanovo, 153025, Russia

Sergey G. Stepanov *

Department of Mechatronics and Radioelectronics, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky ave., 21, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: step-sg@mail.ru*

The article proposes a technique for experimental studies of contact zones between threads in woven reinforcing frames of pressure fire hoses using a JSM-6490LV scanning electron microscope and statistical methods, on the basis of which the coefficients of vertical crumpling of threads, coefficients characterizing the lengths of contact zones between threads in fractions of the diameters of the warp and weft threads, the account of which is necessary for a more accurate determination of the bursting pressures in the pressure head fire hoses. Burst pressure is regulated by GOST R 51049-97 and is an important strength parameter of a pressure head fire hose, characterizing its ability to resist destruction under the influence of the internal hydraulic pressure of a fire extinguishing fluid. The influence of such parameters of a woven reinforcing frame made of polyester threads based on polyethylene terephthalate (PET), as the breaking force of the weft threads (threads laid along the circumference of the sleeve), the radius of the sleeve, geometric densities along the warp and weft, the coefficients of vertical crumpling, has been studied. and the diameters of the warp and weft threads, the coefficients characterizing the lengths of the contact zones between the threads in fractions of the diameters of the warp and weft threads by the value of the bursting pressure in the latex pressure fire hose manufactured by BEREG, designed for a working pressure of 1.6 MPa. As a result of the study, it was established: the bursting

pressure of the pressure head fire hose significantly depends on the geometric densities along the base and weft of the fabric of the reinforcing frame (with an increase (decrease) in geometric densities, the calculated bursting pressure of the hose falls (increases)); the bursting pressure of the sleeve is directly proportional to the bursting force of the weft threads and inversely proportional to the radius of the pressure head fire hose with all its other parameters constant, and the dependence of the bursting pressure on these parameters is significant; with an increase in such parameters of the woven reinforcing frame of the pressure head fire hose as the diameters of the warp and weft threads, their vertical crushing, the length of the contact zones between the threads, the bursting pressure increases, which indicates the need to take these parameters into account in the strength calculation of the woven reinforcing frames of the fire hoses. The results of the study must be taken into account when designing new types of these technical products.

Key words: fire pressure hose, woven reinforcing frame, bursting internal hydraulic pressure, experimental investigation method of contact zones between the fibers

Для цитирования:

Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Калдыбаев Р.Т., Койфман О.И., Базаров Ю.М., Степанова С.М., Степанов С.Г. Исследование характеристик тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов и их влияния на величины внутренних разрывных давлений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 96–104

For citation:

Aripbaeva A.E., Mirkhalykov Zh.U., Kaldybaev R.T., Koifman O.I., Bazarov Yu.M., Stepanova S.M., Stepanov S.G. Investigation of characteristics of woven reinforcing frames of pressure fire hoses and their influence on values of internal bursting pressures. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 10. P. 96–104

В [1-12] рассмотрены назначение, конструкции, виды напорных пожарных рукавов (НПР), факторы, влияющие на их состояние при эксплуатации, физико-механические, физико-химические характеристики синтетических нитей армирующих тканых каркасов (АТК) последних, сделан обзор публикаций и результатов по их расчету при действии внутреннего давления жидкости для пожаротушения. В [13-16] предложена методика расчета и проектирования АТК НПР, в основу которой положена формула:

$$p_{разр} = \frac{2N_{разр}L_o}{R \left[L_y(2L_o - \beta_o d_o) + L_o \left[2(L_y^2 + (d_o \eta_{ов} + d_y \eta_{ув})^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{0,212 \cdot L_y^2 (d_o \eta_{ов} + d_y \eta_{ув})^2}{(L_y^2 + (d_o \eta_{ов} + d_y \eta_{ув})^2)^{\frac{3}{2}}} - \beta_y d_y \right] \right]} \quad (1)$$

где $p_{разр}$ – разрывное внутреннее гидравлическое давление в НПР; $N_{разр}$ – разрывная нагрузка для уточной нити АТК НПР; R – радиус НПР; L_o, L_y – геометрические плотности соответственно по основе и утку АТК НПР; $d_o, d_y, \eta_{ов}, \eta_{ув}$ – соответственно диаметры нитей основы и утка АТК НПР и коэффициенты вертикального смятия нитей; β_o, β_y – коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в АТК НПР в долях диаметров нитей основы и утка.

Определяемое по формуле (1) разрывное давление регламентируется ГОСТ Р 51049-97 [17] и является важным прочностным параметром НПР, характеризующим его способность сопротивляться разрушению под воздействием внутренне-

го гидравлического давления жидкости для пожаротушения.

Анализ формулы (1) показывает, что на величину разрывного внутреннего гидравлического давления в НПР оказывают влияние, помимо прочих параметров, коэффициенты вертикального смятия нитей основы $\eta_{ов}$ и утка $\eta_{ув}$, коэффициенты β_o, β_y , характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка в АТК НПР. Поэтому для более точного определения разрывного внутреннего гидравлического давления в НПР необходим учет этих коэффициентов.

Нами разработана методика определения данных коэффициентов, в основу которой положено исследование зон контакта между полиэфирными нитями на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в АТК НПР с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490LV. Данный микроскоп позволяет выполнить анализ поверхности материалов, исследовать их микроструктуру, получить изображение поверхности объекта с высоким пространственным разрешением, измерить масштабный коэффициент этого видеоизображения. С помощью данного микроскопа исследовались латексированные НПР производства ПО «БЕРЕГ» диаметров 150 мм, 89 мм, 77 мм, 66 мм, 51 мм, АТК которых выполнены из полиэфирных нитей на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ). В качестве объектов исследования брались отрез-

ки данных НПР после опытов по их разрыву для определения разрывного давления в соответствии с ГОСТ Р 51049-2008 (Метод определения разрывного давления рукава), выполненных сотрудниками отдела сертификации и метрологического обеспечения ФГБУ ВНИИПО МЧС России (г. Балашиха, Московская обл.) в специализированной лаборатории при сертификации рукавов. Нами исследовались отрезки данных НПР на достаточном удалении от зоны разрыва. Полученные в результате разрезов вдоль нитей основы и утка зоны контакта между нитями АТК НПР различных диаметров сканировалась электронным лучом микроскопа, в результате чего получали информацию о топографии поверхностей зон контакта между нитями. При обработке экспериментальных данных использовались статистические методы.

Были выполнены фотографии зон контакта между нитями в АТК НПР диаметров с 51 мм по 150 мм при разрезах вдоль нитей основы и утка при 37, 40 и 50-кратном увеличении. Фотографии были сделаны с помощью встроенной в конструкцию микроскопа объективной камеры. На рис. 1, 2 в качестве примеров представлены фотографии зон контакта между нитями в АТК НПР диаметра 51 мм.

На примере определения коэффициентов вертикального смятия основной полиэфирной нити диаметром 51 мм продемонстрируем методику экспериментальных исследований зон контакта между нитями в АТК НПР с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV, на основе которой были определены коэффициенты $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, β_0 , β_u .

Отрезок НПР диаметром 51 мм, вырезанный на достаточном удалении от зоны разрыва рукава, разрезался на десять образцов длиной от 50 до 70 мм, после чего каждый из них разрезали острым лезвием вдоль основной и уточной нити. Полученные таким образом десять образцов зон контакта при разрезе вдоль утка и десять образцов зон контакта при разрезе вдоль основы исследовали под микроскопом JSM-6490LV. С помощью встроенной аппаратуры микроскопа делали десять фотографий зоны контакта между нитями в АТК НПР диаметра 51 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50-кратном увеличении (одна из таких фотографий со смятым поперечным сечением основной нити, близким по форме эллипсу, представлена на рис. 2). С помощью измерительного блока микроскопа по всем десяти фотографиям измеряли смятое сечение нити основы по вертикали – малую ось эллипса. Полученные результаты обрабатывали методами статистики: по результа-

там пробной выборки (10 образцов) подсчитывалась дисперсия и определялась численность репрезентативной выборки (количество фотографий зон контакта для определения величины вертикального смятия нитей в АТК НПР) при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки, не превышающей 5% [18].

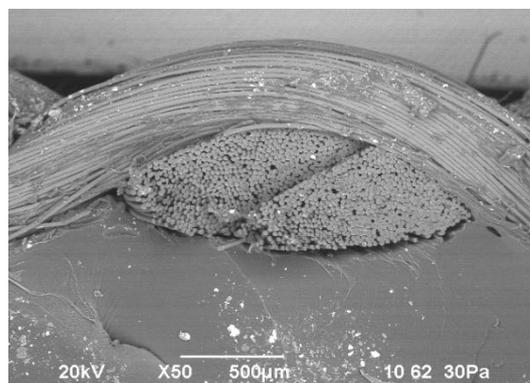


Рис. 1. Фотография зоны контакта между нитями в АТК НПР диаметра 51 мм при разрезе вдоль основной нити при 50-кратном увеличении после его разрыва

Fig. 1. Photo of the contact zone between the fibers in the WRF of the FPH with a diameter of 51 mm when cut along the main thread at a 50-fold increase after breaking

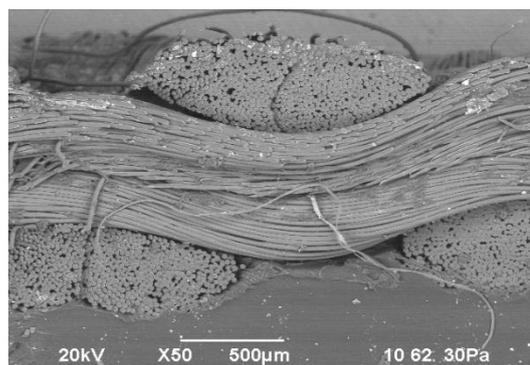


Рис. 2. Фотография зоны контакта между нитями в АТК НПР диаметра 51 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50-кратном увеличении после его разрыва

Fig. 2. Photograph of the contact zone between the fibers in the WRF of the FPH with a diameter of 51 mm when cut along the weft thread at a 50-fold increase after breaking

Рассчитывали дисперсию пробной выборки по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{проб})^2}{n_{проб} - 1}, \quad (2)$$

где: $\bar{x}_{проб}$ – средняя величина в пробной выборке смятого сечения нити АТК НПР; x_i – текущая величина смятого сечения нити; $n_{проб}$ – численность пробной выборки.

Определяли численность репрезентативной выборки по формуле:

$$n_x = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta_x^2}, \quad (3)$$

где: Δ_x – предельная ошибка выборки (5% от средней величины смятия нити); t – коэффициент доверия (в зависимости от величины доверительной вероятности выбирается из таблиц; в нашем случае при $P(x) = 0,954$ $t = 2$).

Так, например, необходимое число опытов (количество сделанных фотографий зон контакта нитей) для НПР диаметром 51 мм оказалось равным 12. Следовательно к 10 сделанным фотографиям необходимо добавить еще 2, что нами и было выполнено. При помощи измерительного блока микроскопа JSM-6490LV на каждой из 12 фотографий замеряли смятое сечение основной нити по вертикали – малую ось эллипса. После этого результаты замеров суммировались. Для получения среднего значения величины смятого сечения нити с учетом коэффициента увеличения микроскопа результат суммирования делился на 12. Полученное таким образом среднее значение, делили

на коэффициент увеличения микроскопа (пятидесятикратное увеличение на рис. 2), то есть на пятьдесят. В результате получали фактический средний размер смятия основной нити по вертикали в АТК НПР, который затем делили на первоначальный диаметр нити основы. Полученный коэффициент вертикального смятия нити основы при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки, не превышающей 5% заносился в табл. 1.

Коэффициенты смятия нитей основы и утка в АТК НПР других диаметров определялись аналогично.

По той же методике определялись средние значения длин зон контакта нитей в АТК НПР. Для получения коэффициенты β_0, β_y , характеризующих длины зон контакта в долях диаметров нитей в АТК НПР, эти средние значения делились на первоначальные (не смятые) значения соответствующих диаметров нитей.

В таблице приведены значения коэффициентов $\eta_{OV}, \eta_{yV}, \beta_0, \beta_y$.

Таблица

Коэффициенты $\eta_{OV}, \eta_{yV}, \beta_0, \beta_y$ зоны контакта нитей в АТК латексированных НПР производства ПО «БЕРЕГ»

Table. Coefficients $\eta_{OV}, \eta_{yV}, \beta_0, \beta_y$ zones of fibers contact in WRF of latex FPH production of "Bereg"

Диаметр латексированного НПР, мм	Коэффициент вертикального смятия основной нити	Коэффициент вертикального смятия уточной нити	Коэффициент зоны контакта β_0	Коэффициент зоны контакта β_y
150	0,558	0,559	1,13	1,11
89	0,545	0,549	1,16	1,13
77	0,532	0,528	1,18	1,14
66	0,543	0,540	1,17	1,13
51	0,553	0,545	1,16	1,12

Найденные коэффициенты смятия полиэфирных нитей АТК НПР характеризуются относительно небольшим диапазоном изменения от 0,528 до 0,559.

Поскольку точное экспериментальное определение коэффициентов вертикального смятия нитей основы и утка АТК НПР в момент разрыва при современном уровне развития измерительной техники крайне затруднительно, авторы [7] вынужденно задавались значениями данных коэффициентов, принимая их равными 0,55. Наши исследования показывают несколько меньшие значения этих коэффициентов, а, следовательно, большее фактическое смятие нитей АТК НПР.

В [7], [10] принято допущение, что в АТК НПР длина дуги контакта между уточной и основной нитью в расчетной модели для отрезка основы равна диаметру уточной нити, а длина дуги контакта между основной и уточной нитями в

расчетной модели для отрезка утка равна диаметру основной нити, что фактически означает принятие коэффициентов β_0, β_y , равных единице в АТК НПР.

Результаты наших исследований показывают, что величины коэффициентов зон контакта между нитями в АТК НПР больше и лежат в пределах от 1,11 до 1,18.

По нашему мнению, не будет лишним привести обоснование возможности использования полученных после разрыва НПР коэффициентов $\eta_{OV}, \eta_{yV}, \beta_0, \beta_y$ для расчета разрывного давления по зависимости (1), так как можно предположить, что их значения в момент разрыва НПР могут существенно отличаться от их же значений после разрыва. Мы считаем, что в АТК НПР при значительных силах взаимного давления между полиэфирными нитями и сильным смятии последних в радиальном направлении, вызванных внут-

ренним давлением в течение длительного времени, остаточные деформации становятся основными, а упругая составляющая, исчезающая со снятием нагрузки, то есть после разрыва НПР, незначительна. Поэтому из-за сохранившейся остаточной деформации коэффициенты $\eta_{ОВ}$, $\eta_{УВ}$, β_0 , $\beta_У$ после разрыва НПР будут близкими к значениям этих коэффициентов во время разрыва. Исследование под микроскопом JSM-6490LV отрезков полиэфирных нитей, извлеченных из АТК НПР разных диаметров после разрыва рукава и снятия нагрузки, подтвердило сильную остаточную изогнутость и сильное остаточное вертикальное смятие этих нитей, что подтверждает допущение о доминирующей роли остаточной деформации. Основным критерием обоснованности использования коэффициентов $\eta_{ОВ}$, $\eta_{УВ}$, β_0 , $\beta_У$ для расчета разрывного давления по зависимости (1) является сравнение расчетных и экспериментальных данных по разрывным давлениям. Такое сравнение показало, что использование коэффициентов $\eta_{ОВ}$, $\eta_{УВ}$, β_0 , $\beta_У$, найденных по изложенной выше методике, обосновано и целесообразно, так как способствует значительному возрастанию точности расчетов (см. [9], табл. 2. Расчетные и экспериментальные данные по разрывным давлениям в напорных пожарных рукавах ПО «БЕРЕГ»).

По нашему мнению, важно, как с научной, так и с практической точки зрения, исследовать зависимость разрывного давления в НПР от таких параметров их АТК, как геометрические плотности по основе L_0 и утку $L_У$, разрывное усилие уточных нитей $N_{разр.}$, радиус рукава R , коэффициенты вертикального смятия нитей основы $\eta_{ОВ}$ и утка $\eta_{УВ}$, диаметры нитей основы d_0 и утка $d_У$, коэффициенты β_0 , $\beta_У$, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка. Все эти перечисленные параметры согласно формуле (1) влияют на величину разрывного давления НПР. При этом необходимые для такого исследования исходные параметры АТК данного НПР определялись с помощью методов, изложенных в [9].

Такое исследование позволит выяснить, какие из вышеперечисленных параметров АТК НПР оказывают наибольшее влияние на прочность рукавов, что необходимо будет учитывать при проектировании новых видов этих технических изделий.

Для оценки влияния параметров АТК НПР на величину внутреннего разрывного давления на основе формулы (1) в качестве объекта исследования был выбран латексированный НПР диамет-

ром 77 мм производства ПО «БЕРЕГ» (Россия). Этот рукав изготовлен из полиэфирных нитей на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) под рабочее давление 1,6 МПа.

Структура формулы (1) такова, что разрывное давление НПР обратно пропорционально радиусу рукава и прямо пропорционально разрывному усилию уточных нитей. Отсюда следует, что с возрастанием (уменьшением) величины разрывного усилия уточных нитей разрывное давление в НПР (то есть, фактически, прочность рукава) возрастает (падает) по линейному закону.

Зависимости величин разрывных давлений от разрывных усилий уточных нитей АТК НПР при различных диаметрах поперечных сечений рукавов показаны на рис. 3.

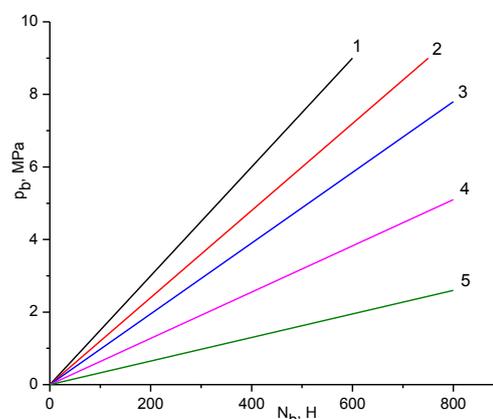


Рис. 3. Зависимость величины разрывного давления $p_{разр}$ от разрывного усилия уточной нити АТК НПР разных диаметров 1 - для диаметра 51 мм; 2 - для диаметра 66 мм; 3 - для диаметра 77 мм; 4 - для диаметра 89 мм; 5 - для диаметра 150 мм

Fig. 3. The dependence of the burst pressure p_b on the tensile strength of the weft fiber of the WRF of the FPH with different diameter 1 – for diameter 51 mm; 2 - for diameter 66 mm; 3 - for diameter 77 mm; 4 - for diameter 89 mm; 5 - for diameter 150 mm

Из анализа графиков следует, что с уменьшением диаметров поперечных сечений НПР крутизна характеристик возрастает.

В целом на основе анализа формулы (1) заключаем, что с уменьшением (увеличением) радиуса НПР его разрывное давление возрастает (уменьшается).

Увеличение разрывного усилия уточных нитей АТК НПР является одним из решений проблемы увеличения прочности рукавов. Существует два возможных направления по реализации этого решения. Первое направление состоит в том, что в качестве уточных нитей для изготовления АТК НПР могут быть взяты традиционные полиэфирные нити на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) большего диаметра (большей линейной

плотности) и соответственно с большим разрывным усилием. Но такое направление приводит к увеличению материалоемкости и веса НПР. Второе направление – использовать вместо полиэфирных уточных нитей для изготовления ATK НПР высокопрочные и износостойкие нити, например, сверхвысокомолекулярные (СВМ) нити, или нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [1, 19-20], что обеспечит большую сопротивляемость ATK НПР к абразивному износу. Абразивный износ поверхности ATK НПР является основной причиной разрыва рукавов при их эксплуатации [1]. В связи с этим, мы считаем перспективным направлением использование нитей из СВМПЭ, армированного короткими углеродными волокнами (КУВ) и наполненного твердосмазочными частицами мелкодисперсного политетрафторэтилена (ПТФЭ), т. к. в [21-23] показано, что введение микронаполнителей (твердосмазочного и армирующего) в СВМПЭ позволяет одновременно обеспечить повышение механических характеристик и сопротивления изнашиванию (при умеренных скорости скольжения и нагрузке в условиях сухого трения скольжения износостойкость повышается вдвое).

На основе формулы (1) исследовано влияние геометрических плотностей по основе и утку ATK на величину внутреннего разрывного давления в НПР (рис. 4). Анализ представленных зависимостей показывает, что разрывное давление в НПР существенно зависит от геометрических плотностей по основе и утку ткани ATK. Увеличение (уменьшение) геометрических плотностей по основе и утку ткани ATK НПР приводит к уменьшению (увеличению) разрывного давления, то есть к снижению его прочностных характеристик при гидравлическом воздействии.

Уменьшение геометрических плотностей по основе и утку нитей ATK НПР (если это позволяют технологические возможности) наряду с увеличением разрывного усилия уточных нитей является наиболее перспективным направлением увеличения прочности НПР при действии внутреннего гидравлического давления, что необходимо учитывать при проектировании новых видов ATK НПР.

На рис. 4 показаны зависимости величин разрывных давлений от диаметров нитей основы и утка ATK НПР, полученные на основе формулы (1). Из анализа графиков следует, что с увеличением диаметров нитей основы и утка ATK НПР разрывное давление возрастает.

Зависимости величин разрывного давления от коэффициентов смятия нитей основы и утка ATK НПР (рис. 4) имеют почти линейный ха-

рактер. Из анализа графиков следует, что с увеличением вертикального смятия нитей ATK НПР (при этом коэффициент вертикального смятия нитей будет уменьшаться) разрывное давление возрастает. Влияние коэффициентов вертикального смятия нитей ATK латексированного НПР на величину разрывного давления менее существенное, чем влияние геометрических плотностей по основе и утку и усилия разрыва уточных нитей.

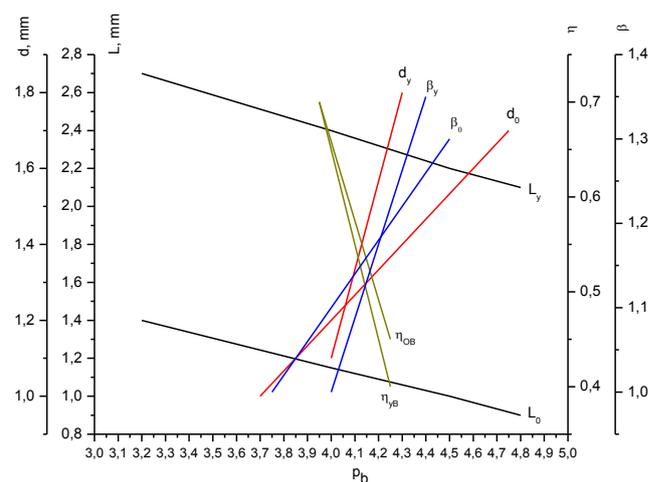


Рис. 4. Зависимость геометрической плотности по основе L_o и по утку L_y , диаметра основных (d_o) и уточных (d_y) нитей, коэффициента вертикального смятия нитей основы η_{ov} и утка η_{uv} , коэффициента, характеризующего длину зоны контакта между нитями в долях диаметров нитей основы (β_o) и утка (β_y) ткани ATK латексированного НПР диаметра 77 мм от величины разрывного давления $p_{разр}$

Fig. 4. The dependence of the geometric density of the warp L_o and of the weft L_y , diameter of the main (d_o) and (d_y), coefficient of vertical shearing of warp fibers η_{ov} and weft fibers η_{uv} , coefficient characterizing the length of the contact zone between the fibers in fractions of the diameters of the warp (β_o) and of the weft (β_y) of extile fibers t of WRF of the latex FPH with a diameter of 77 mm on of the burst pressure p_b

На рис. 4 показаны зависимости величин разрывных давлений от коэффициентов, характеризующих длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей в ATK НПР, полученные на основе формулы (1). Из анализа графиков следует, что с увеличением длин зон контакта между нитями в ATK ПНР разрывное давление возрастает.

ВЫВОДЫ

Выполнен комплекс экспериментальных исследований зон контакта между полиэфирными нитями на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в ATK НПР с применением современной измерительной аппаратуры и методов статистики, в результате чего определены величины коэффициентов вертикального смятия нитей, длин зон контакта между нитями в ATK НПР разных диаметров.

Расчеты с учетом найденных экспериментальным путем значений длин дуг контакта между основной и уточной нитями, величин коэффициентов вертикального смятия нитей основы и утка АТК дают существенно более точные результаты по разрывным давлениям в НПП, что подтверждает необходимость их учета.

На основе формулы для расчета на прочность НПП при действии внутреннего гидравлического давления исследовано влияние на величину

разрывного давления в латексированном НПП производства ПО «БЕРЕГ», изготовленного под рабочее давление 1,6 МПа, таких параметров АТК, как разрывное усилие уточных нитей, радиус рукава, геометрические плотности по основе и утку, коэффициенты вертикального смятия и диаметры нитей основы и утка, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Койфман О.И., Базаров Ю.М., Степанов С. Г. Перспективное направление в области расчета и проектирования армирующих каркасов напорных пожарных рукавов на основе синтетических нитей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 7. С. 92-95.
2. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G., Makhmudov G.I., Abdikerimov S.ZH., Sagitova G.F. New formula for strength calculation of pressure fire hoses under intrinsic hydraulic pressure. *Internat. J. Res. Eng., IT Soc. Sci.* 2016. V. 6. N 12. P. 47-50.
3. Aripbaeva A.E., Myrkhalikov Zh.U., Togataev T.U., Dzhanpaizova V.M., Yeldiyar G.K., Kaldyibaeva G.Yu. Determination of reference data and evaluation of the accuracy of formulas for calculating the burst pressure in the pressurized fire hoses under hydraulic effects. *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2016): III intern. conf. Shymkent*. 2016. P. 35-39.
4. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G., Makhmudov G.I., Abdikerimov S.Zh., Sagitova G.F. Estimation of the formula accuracy for the calculating of the bursting pressure in the forcing fire hose at the internal hydraulic pressure. *Internat. J. Res. Eng., IT Soc. Sci.* 2016. V. 06. N 12. P. 42-46.
5. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U. Ways for improvement of strength characteristics of a fire pressure. *Изв. НАН РК. Сер. геологии и технич. наук*. 2017. С. 236-240.
6. Моторин Л.В., Степанов О.С., Братолобова Е.В. Математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии. *Изв. вузов. Технология текст. пром-ти*. 2010. № 8. С. 103-109.
7. Моторин Л.В., Степанов О.С., Братолобова Е.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии. *Изв. вузов. Технология текст. пром-ти*. 2011. № 1. С. 126-133.
8. Арипбаева А.Е., Степанов С.Г., Калдыбаев Р.Т. Зависимость для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах. *Изв. вузов. Технология текст. пром-ти*. 2019. № 1. С. 186-191.
9. Арипбаева А.Е., Степанов С.Г., Калдыбаев Р.Т., Калдыбаева Г.Ю., Мирзамуратова Р.Ш. Оценка точности зависимости для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах. *Изв. вузов. Технология текст. пром-ти*. 2019. № 1. С. 191-195.
10. Мырхалыков Ж.У., Сатаев М.И., Степанов С.Г., Чистобородов Г.И. Теория формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей и ее приложение к решению практических задач. Шымкент: ЮКГУ. 2014. 500 с.
11. Kaldybayev R., Stepanov S., Aripbayeva A., Mirzamuratova R. Development of research methodics of contact zones between threads in woven frames of fire fighting sleeves. *Indust. Technol. Eng.* 2019. N 1(30). P. 25-33.

REFERENCES

1. Aripbaeva A.E., Myrkhalikov Zh.U., Koyfman O.I., Bazarov Yu.M., Stepanov S.G. Perspective direction in the field of calculation and design of reinforcing frames of pressure fire hoses based on synthetic fibers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 7. P. 92-95 (in Russian).
2. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G., Makhmudov G.I., Abdikerimov S.ZH., Sagitova G.F. New formula for strength calculation of pressure fire hoses under intrinsic hydraulic pressure. *Internat. J. Res. Eng., IT Soc. Sci.* 2016. V. 6. N 12. P. 47-50.
3. Aripbaeva A.E., Myrkhalikov Zh.U., Togataev T.U., Dzhanpaizova V.M., Yeldiyar G.K., Kaldyibaeva G.Yu. Determination of reference data and evaluation of the accuracy of formulas for calculating the burst pressure in the pressurized fire hoses under hydraulic effects. *Industrial Technologies and Engineering (ICITE-2016): III intern. conf. Shymkent*. 2016. P. 35-39.
4. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G., Makhmudov G.I., Abdikerimov S.Zh., Sagitova G.F. Estimation of the formula accuracy for the calculating of the bursting pressure in the forcing fire hose at the internal hydraulic pressure. *Internat. J. Res. Eng., IT Soc. Sci.* 2016. V. 06. N 12. P. 42-46.
5. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U. Ways for improvement of strength characteristics of a fire pressure. *Izv. NAN RK. Ser. Geol. Tekh. Nauk.* 2017. P. 236-240 (in Russian).
6. Motorin L.V., Stepanov O.S., Bratolyubova E.V. A mathematical model for the strength calculation of pressure fire hoses under hydraulic pressure. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekh. Text. Prom.* 2010. N 8. P. 103-109 (in Russian).
7. Motorin L.V., Stepanov O.S., Bratolyubova E.V. Simplified mathematical model for strength analysis of pressure fire hoses under hydraulic impact. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekh. Text. Prom.* 2011. N 1. P. 126-133 (in Russian).
8. Aripbaeva A.E., Stepanov S.G., Kaldybaev R.T. Dependence for calculating bursting internal hydraulic pressure in fire pressure hoses. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekh. Text. Prom.* 2019. N 1. P. 186-191 (in Russian).
9. Aripbaeva A.E., Stepanov S.G., Kaldybaev R.T., Kaldybaeva G.Y., Mirzamuratova R.S. Dependence accuracy assessment for calculating bursting internal hydraulic pressure in fire pressure hoses. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekh. Text. Prom.* 2019. N 1. P. 191-195 (in Russian).
10. Mirkhalikov Zh.U., Sataev M.I., Stepanov S.G., Chistoborodov G.I. The theory of fiber formation and structure based on nonlinear mechanics of flexible fibers and its application to solving practical problems. *Shymkent.: SKSU*. 2014. 500 p. (in Russian).

12. **Арипбаева А.Е., Степанов С.Г., Калдыбаев Р.Т., Мирзамуратова Р.Ш.** Вывод формулы для расчета разрывного давления в напорных пожарных рукавах. *Вестн. КазНУТУ*. 2019. № 2 (132). С. 454-458.
13. **Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Коифман О.И., Базаров Ю.М., Степанов С.Г.** Методика расчета и рационального проектирования армирующих каркасов напорных пожарных рукавов на основе синтетических нитей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 83-87.
14. **Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G.** Method of design of reinforcing frames fire hoses when subjected to internal hydraulic pressure. *European Science and Technology. Materials of the XVII international research and practice conference. Munich*. 2017. P. 42-50.
15. **Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Степанов С.Г.** Методика рационального проектирования тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX–2016): сб. матер. XIX междунар. науч.-техн. форума. Иваново*. 2016. С. 235-237.
16. **Арипбаева А.Е.** О расчете и рациональном проектировании армирующих каркасов пожарных напорных рукавов при действии внутреннего гидравлического давления. *Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. матер. VIII Всеросс. науч.-практ. конф. Иваново*. 2017. С. 3-6.
17. ГОСТ Р 51049-97. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытания.
18. **Степанова С.М., Митюнина С.В., Яровикова И.Б.** Статистика. Иваново: ИГТА. 2013. 395 с.
19. **Степанов С.Г., Шомов П.А., Арипбаева А.Е., Сибилев А.А.** О выборе материала нитей для производства армирующих каркасов пожарных напорных рукавов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. *Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. матер. VIII Всеросс. науч.-практ. конф. Иваново*. 2017. С. 233-236.
20. **Логинава Л.В., Арипбаева А.Е.** О перспективах использования нитей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена для производства пожарных напорных рукавов с улучшенными свойствами. *Изв. вузов. Технология текст. пром-ти*. 2017. № 4. С. 111-114.
21. **Панин С.В., Алексенко В.О., Корниенко Л.А., Буслевич Д.Г., Валентюкевич Н.Н.** Механические и триботехнические характеристики многокомпонентных твердосмазочных композитов на матрице сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 11. С. 88-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20186111.11y.
22. **Панин С.В., Корниенко Л.А., Алексенко В.О., Нгуен Дык Ань, Иванова Л.Р.** Влияние углеродных нановолокон/нанотрубок на формирование физико-механических и триботехнических характеристик полимерных композитов на основе термопластичных матриц СВМПЭ и ПЭЭК. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. Т. 60. Вып. 9. С. 45-51.
23. **Панин С.В., Корниенко Л.А., Алексенко В.О., Иванова Л.Р., Шилько С.В., Буслевич Д.Г.** Сравнение эффективности углеродных нано и микроволокон в формировании физико-механических и триботехнических характеристик полимерных композитов на основе высокомолекулярной матрицы. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 9. С. 99-105.
11. **Kaldybayev R., Stepanov S., Aripbayeva A., Mirzamuratova R.** Development of research methodics of contact zones between threads in woven frames of fire fighting sleeves. *Indust. Technol. Eng.* 2019. N 1(30). P. 25-33.
12. **Aripbaeva A.E., Stepanov S.G., Kaldybaev R.T., Mirzamuratova R.Sh.** Derivation of the formula for calculating the burst pressure in pressure fire hoses. *Vestn. KazNI-TU*. 2019. N 2 (132). P. 454-458 (in Russian).
13. **Aripbaeva A.E., Mirkhalikov J.U., Koifman O.I., Bazarov Y.M., Stepanov S.G.** Methods of calculation and rational design of reinforcing frames of fire pressure hoses based on synthetic fibers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 10. P. 83-87 (in Russian).
14. **Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G.** Method of design of reinforcing frames fire hoses when subjected to internal hydraulic pressure. *European Science and Technology. Materials of the XVII international research and practice conference. Munich*. 2017. P. 42-50.
15. **Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G. Aripbaeva A.E.** Methodology for the rational design of woven reinforcing frames of pressure fire hoses. *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (SMARTEX–2016). Ivanovo*. 2016. P. 235-237 (in Russian).
16. **Aripbaeva A.E.** On the calculation and rational design of reinforcing frames of fire pressure hoses under the action of internal hydraulic pressure. *Reliability and durability of machines and mechanisms. Ivanovo*. 2017. P. 3-6 (in Russian).
17. GOST RF 51049-97. Firefighting equipment. Fire pressure hoses. General technical requirements. Test methods. (in Russian).
18. **Stepanova S.M., Mityunina S.V., Yarovikova I.B.** Statistics. Ivanovo: IGTA. 2013. 395 p. (in Russian).
19. **Stepanov S. G., Shomov I.A., Aripbaeva A.E., Sibilev A.A.** The choice of material for the production of fibers of reinforcing carcasses fire hoses with improved performance. *Ivanovo*. 2017. P. 233-236. (in Russian).
20. **Loginova L.V., Aripbaeva A.E.** On the prospects of using ultrahigh molecular weight polyethylene fibers for the production of fire pressure hoses with improved properties. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekh. Text. Prom.* 2017. N 4. P. 111-114 (in Russian).
21. **Panin S.V., Alexenko V.O., Kornienko L.A., Buslovich D.G., Valentyukevich N.N.** Mechanical and tribotechnical characteristics of multicomponent solid-lubricating composites on an ultrahigh molecular weight polyethylene matrix. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 11. P. 88-95 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20186111.11y.
22. **Panin S.V., Kornienko L.A., Alexenko V.O., Anh N.D., Ivanova L.R.** Influence of carbon nanofibers / nanotubes on the formation of physical-mechanical and tribotechnical characteristics of polymer composites based on thermoplastic UHMWPE and PEEK matrix. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 9. P. 45-51 (in Russian).
23. **Panin S.V., Kornienko L.A., Alexenko V.O., Ivanova L.R., Shil'ko S.V., Buslovich D.G.** Comparison on efficiency of carbon nano- and microfibers in formation physical-mechanical and tribotechnical properties of polymer composites based on highmolecular weight matrix. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 9. P. 99-105 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 10.03.2020

Принята к опубликованию (Accepted) 18.05.2020