

УДК 677.024

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА
МЕЖДУ НИТЯМИ В ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСАХ
ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ**

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CONTACT PARAMETERS
BETWEEN THREADS IN WOVEN REINFORCING FRAMES
OF FIRE DELIVERY HOSES**

*Р.Т. КАЛДЫБАЕВ, С.Г. СТЕПАНОВ, А.Е. АРИПБАЕВА, А.О. БАЙДИБЕКОВА,
Г.А. ТАКИБАЕВА, Р.Ш. МИРЗАМУРАТОВА*

*R.T. KALDYBAEV, S.G. STEPANOV, A.E. ARIPBAEVA, A.O. BAYDIBEKOVA,
G.A. TAKIBAEVA, R.SH. MIRZAMURATOVA*

**(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: Rashid_cotton@mail.ru

*В ранее проведенных авторами исследованиях показано, что на величину
внутреннего разрывного давления в пожарных напорных рукавах (регламен-
тируется ГОСТ Р 51049-97 и является важнейшим прочностным парамет-*

ром рукавов), оказывают влияние, помимо прочих параметров, коэффициенты вертикального смятия нитей, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка. Учет этих параметров необходим для более точного определения разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах. Изложена методика экспериментальных исследований зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах пожарных напорных рукавов с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV и методов статистики, на основе которых были определены коэффициенты вертикального смятия нитей, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка.

In previously conducted by the authors of the studies have shown that the magnitude of internal burst pressure fire delivery hoses (regulated by GOST R 51049-97 is the most important strength parameter hoses), influenced, among other parameters, the coefficients of the vertical shear of the strands, the coefficients characterizing the length of the contact areas between the threads in fractions of the diameters of warp and weft. Consideration of these parameters is necessary for a more accurate determination of the breaking internal hydraulic pressure in the fire delivery hoses. The technique of experimental studies of contact zones between the yarns in a woven reinforcing frames, fire hoses, using a scanning electron microscope JSM-6490LV and methods of statistics, based on which were determined the coefficients of the vertical shear of the strands, the coefficients characterizing the length of the contact areas between the threads in fractions of the diameters of warp and weft.

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

Keywords: fire delivery hose, woven reinforcing frame, bursting internal hydraulic pressure, experimental research methods of contact zones between the threads.

В [1] выполнено теоретическое исследование зависимости разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах (ПНР) от параметров их тканого армирующего каркаса. Показано, что для более точного определения разрывного внутреннего гидравлического давления в ПНР по формуле (1) [1], [2] необходимо учитывать, помимо прочих параметров, коэффициенты вертикального смятия нитей основы $\eta_{ов}$ и утка $\eta_{ув}$, коэффициенты $\beta_о$, $\beta_у$, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка.

Данные коэффициенты определялись нами на основе исследования зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР с помощью растрового элек-

тронного микроскопа JSM-6490LV, позволяющего исследовать микроструктуру и провести анализ поверхности различных материалов, а также измерить масштабный коэффициент видеоизображения при помощи получения изображения поверхности объекта с высоким пространственным разрешением. В качестве объектов исследования были взяты латексированные ПНР производства ПО "БЕРЕГ" диаметров 51, 66, 77, 89 и 150 мм 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. Исследовались отрезки данных ПНР на достаточном удалении от локальной зоны рукава, разрушенной при разрыве. Полученные в результате разрезов вдоль нитей основы и утка зоны контакта между нитями тканых армирующих каркасов ПНР различных диаметров сканировалась электронным лучом микроскопа, и образующиеся при этом обратно рассеянные электроны несли информацию о топографии поверхностей зон контакта между нитями, что позволило изучить эти зоны. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием статистических методов.

С помощью встроенной в конструкцию микроскопа объектной камеры были выполнены фотографии зон контакта между нитями в армирующих тканых каркасах ПНР диаметров с 51 по 150 мм при разрезах вдоль нитей основы и утка при 50, 40 и 37-кратном увеличении. В качестве примеров на рис. 1 (фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 51 мм при разрезе вдоль основной нити при 50-кратном увеличении после его разрыва) и рис. 2 (то же при разрезе вдоль уточной нити) представлены фотографии зон контакта между нитями в армирующих тканых каркасах ПНР диаметра 51 мм.

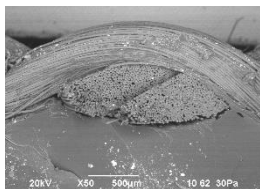


Рис. 1

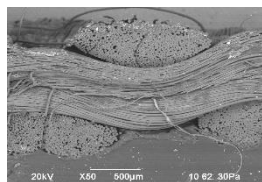


Рис. 2

Изложим методику экспериментальных исследований зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV, на основе которой были определены коэффициенты $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, $\beta_о$, $\beta_у$, на примере определения коэффициентов вертикального смятия основной нити ПНР диаметром 51 мм.

Отрезок ПНР данного диаметра на достаточном удалении от локальной зоны рукава, разрушенной при разрыве, разрезался на десять образцов от 50 до 70 мм длиной

каждый. Затем каждый из этих образцов разрезали острым лезвием вдоль уточной и основной нити. Таким образом получили по десять образцов для исследования зон контакта при разрезе вдоль основы и по десять образцов для исследования зон контакта при разрезе вдоль утка. Исследовали под микроскопом JSM-6490LV зону контакта между нитями с помощью встроенной аппаратуры микроскопа и делали десять фотографий зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 51 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50-кратном увеличении (одна из таких фотографий представлена на рис. 2). На фотографии четко видно смятое поперечное сечение основной нити, близкое по форме эллипсу. По всем десяти фотографиям с помощью измерительного блока микроскопа измеряли смятое сечение нити основы по вертикали – малую ось эллипса. Полученные результаты обрабатывали методами статистики: по результатам пробной выборки (10 образцов) подсчитывалась дисперсия и определялась численность репрезентативной (достоверной) выборки (количество фотографий зон контакта для определения величины вертикального смятия) при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки не превышающей 5%.

Дисперсия пробной выборки рассчитывалась по формуле:

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

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

Численность репрезентативной выборки определялась по формуле:

$$n_x = \frac{t^2 \sigma}{\Delta_{\bar{x}}^2}, \quad (2)$$

где t – коэффициент доверия (выбирается из таблиц в зависимости от величины доверительной вероятности; в нашем случае

при $P(x)=0,954$ $t=2$); $\Delta_{\bar{x}}$ – предельная ошибка выборки (5% от средней величины смятия нити).

Так, например, для ПНР диаметром 51 мм необходимое число опытов оказалось равным 12. Поэтому к десяти уже проведенным опытам (10 фотографий) нами было добавлено еще 2. Для каждой из 12 фотографий с помощью измерительного блока микроскопа замеряли смятое сечение нити основы по вертикали (малую ось эллипса), затем результаты суммировались, и полученное таким образом число делилось на 12 для получения среднего значения величины смятого сечения нити с учетом увеличения. Это среднее значение делили на коэффициент увеличения (см. рис. 2 с пятидесятикратным увеличением), то есть на пятьдесят и получали средний фактический размер смятия основной нити по вертикали. Так, например, средний размер смятого сечения нити по вертикали по 12 фотографиям, подобных той, что представлена на рис. 2, составил 33,18 мм. После деления на

50 получили фактический средний размер смятого сечения нити основы по вертикали 0,6636 мм при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки не превышающей 5%. Это число делили на первоначальный диаметр нити основы 1,20 мм [4, табл. 1]. Исходные данные для расчета разрывных давлений в ПНР ПО "БЕРЕГ") и получили коэффициент вертикального смятия нити основы: $0,6636:1,2=0,553$. Это значение заносили в табл. 1. Аналогичным образом поступали при определении коэффициентов смятия нитей основы и утка ПНР других диаметров.

Аналогичная методика использовалась при определении коэффициентов β_o , β_y , характеризующих длины зон контакта в долях диаметров нитей. Отличие состояло в том, что в этом случае определялось среднее фактическое значение длины зоны контакта, которое затем делилось на первоначальное значение соответствующего диаметра нити.

Значения коэффициентов $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, β_o , β_y , приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Диаметр латексированного ПНР, мм	Коэффициент вертикального смятия основной нити	Коэффициент вертикального смятия уточной нити	Коэффициент зоны контакта β_o	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

Анализ полученных коэффициентов смятия указывает на относительно небольшой диапазон их изменения от 0,528 до 0,559. Значения этих коэффициентов говорят о том, что как основные, так и уточные нити в тканых армирующих каркасах ПНР производства ПО "БЕРЕГ" разных диаметров смяты чуть менее чем наполовину. В [5, с. 89] автор вынужденно задавался коэффициентами вертикального смятия нитей основы и утка, принимая их равными 0,55, т.к. их точное экспериментальное определение в момент разрыва ПНР при современном уровне развития измерительной техники крайне затруднительно, если вообще возможно. Такого же мнения придерживаются авторы работы [6].

Наши исследования показывают несколько меньшие значения этих коэффициентов, а, следовательно, большее фактическое смятие нитей тканого армирующего каркаса рукавов [7].

В [5, с. 59] автор принимает допущение о том, что длины дуг контакта между основной и уточной нитями в расчетной модели для утка равна диаметру основной нити, а длина дуги контакта между уточной и основной нитью в расчетной модели для отрезка основы равна диаметру уточной нити. Последнее равносильно принятию коэффициентов β_o , β_y , равных единице.

Наши исследования показывают, что коэффициенты зон контакта выше по значениям и изменяются в пределах от 1,11 до 1,18.

Следует также отметить, что может возникнуть вопрос о необоснованности использования данных по коэффициентам $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, $\beta_о$, $\beta_у$, полученным для уже подвергнувшегося разрыву рукава, для расчета разрывного давления по формуле (1) [1], так как их значения в момент разрыва будут отличаться от полученных. Однако мы считаем, что при больших силах взаимного давления между нитями и сильном смятии нитей в радиальном направлении в течение длительного времени остаточные деформации становятся доминирующими, а роль упругой составляющей, которая исчезает после снятия нагрузки, в доле общей деформации не значительна. Поэтому мы считаем, что из-за доминирующей остаточной деформации и относительно малой упругой составляющей такие коэффициенты как $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, $\beta_о$, $\beta_у$ после опыта на разрыв рукава будут достаточно близкими к значениям этих коэффициентов во время разрыва. Обоснованность допущения о доминирующей роли остаточной деформации подтверждается тем, что как визуальное исследование, так и исследование с помощью микроскопа JSM-6490LV отрезков нитей основы и утка, извлеченных из тканых армирующих каркасов ПНР разных диаметров после опыта на разрыв и снятия нагрузки, указывает на сильную остаточную изогнутость и сильное остаточное вертикальное смятие этих нитей, причем наличие тонких слоев резины или латекса на эти остаточные деформации практически не оказывает влияния. Обоснованность и оправданность использования найденных коэффициентов $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, $\beta_о$, $\beta_у$ для расчета разрывного давления по формуле (1) [1] и, следовательно, вывода о доминировании остаточной деформации, хорошо подтверждается сравнением расчетных и имеющихся экспериментальных данных по разрывным давлениям. Это, по нашему мнению, является основным критерием. Использование коэффициентов $\eta_{ов}$, $\eta_{ув}$, $\beta_о$, $\beta_у$, найденных по изложенной выше методике, обосновано и оправдывает себя, так как приводит к существенному увеличению точности расчетов [4, табл. 2]. Расчетные и экспериментальные данные по разрывным давлениям в ПНР ПО "БЕРЕГ").

1. Выполнен комплекс экспериментальных исследований зон контакта между нитями в ПНР с применением современной измерительной аппаратуры и методов статистики, в результате чего определены величины коэффициентов вертикального смятия нитей, длин зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР разных диаметров.

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

Настоящее исследование выполнено в рамках финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан проекта AP05133582 "Разработка методики расчета и проектирования тканых армирующих каркасов пожарных напорных рукавов с целью создания новых высокотехнологических образцов этих технических изделий".

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Степанов С.Г.* Теоретическое исследование зависимости разрывного гидравлического давления пожарных напорных рукавов от параметров их тканого армирующего каркаса // Вестник КазНТУ. – 2017, № 1. С.143...149.
2. *Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Степанов С.Г.* Новое перспективное научное направление в области расчета и проектирования пожарных напорных рукавов // Вестник КазНТУ. – 2016, № 6. С.308...312.
3. ГОСТ Р 51049–97. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытания.
4. *Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Степанов С.Г.* Подтверждение зависимости для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах // Вестник КазНТУ. – 2017, № 2. С. 196...200.
5. *Степанов О.С.* Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, ИГТА, 2012.

6. 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, ИВГПУ, 2014.

7. 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 текстильной промышленности. – 2019, №1(379).

REFERENCES

1. Aripbaeva A.E., Myrkhalykov Zh.U., Stepanov S.G. Teoreticheskoe issledovanie zavisimosti razryvnogo gidravlicheskogo davleniya pozharnykh napornykh rukavov ot parametrov ikh tkanogo armiruyushchego karkasa // Vestnik KazNTU. – 2017, № 1. S. 143...149.

2. Aripbaeva A.E., Myrkhalykov Zh.U., Stepanov S.G. Novoe perspektivnoe nauchnoe napravlenie v oblasti rascheta i proektirovaniya pozharnykh napornykh rukavov // Vestnik KazNTU. – 2016, № 6. S. 308...312.

3. GOST R 51049–97. Tekhnika pozharnaya. Rukava pozharnye napornye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniya.

4. Aripbaeva A.E., Myrkhalykov Zh.U., Stepanov S.G. Podtverzhdenie zavisimosti dlya rascheta razryvnogo vnutrennego gidravlicheskogo davleniya v pozharnykh napornykh rukavakh // Vestnik KazNTU. – 2017, № 2. S. 196...200.

5. Stepanov O.S. Primenenie teorii stroeniya tkani dlya prochnostnogo rascheta napornykh pozharnykh rukavov pri gidravlicheskom vozdeystvii: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Ivanovo, IGTA, 2012.

6. Myrkhalykov Zh.U., Sataev M.I., Stepanov S.G., Chistoborodov G.I. Teoriya formirovaniya i stroeniya tkani na osnove nelineynoy mekhaniki gibkikh nitey i ee prilozhenie k resheniyu prakticheskikh zadach. – Shymkent: YuKGU, IVGPU, 2014.

7. Aripbaeva A.E., Stepanov S.G., Kaldybaev R.T., Kaldybaeva G.Yu., Mirzamuratova R.Sh. Otsenka tochnosti zavisimosti dlya rascheta razryvnogo vnutrennego gidravlicheskogo davleniya v pozharnykh napornykh rukavakh // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №1(379).

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных материалов ЮКГУ им. М. Ауэзова. Поступила 22.01.20.