

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЗАВИСИМОСТИ
ДЛЯ РАСЧЕТА РАЗРЫВНОГО ВНУТРЕННЕГО
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВАХ**

**ESTIMATION OF ACCURACY FORMULA
FOR CALCULATION OF DISCONTINUED INTERNAL
HYDRAULIC PRESSURE IN FIRE PRESSURE HOSES**

А.Е. АРИПБАЕВА, С.Г. СТЕПАНОВ, Р.Т. КАЛДЫБАЕВ, Г.Ю. КАЛДЫБАЕВА, Р.Ш. МИРЗАМУРАТОВА
A.E. ARIPBAEVA, S.G. STEPANOV, R.T. KALDYBAEV, G.YU. KALDYBAEVA, R.SH. MIRZAMURATOVA

**(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,
Ивановский государственный политехнический университет, Россия)
(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
Ivanovo State Polytechnical University, Russia)**

E-mail: step-sg@mail.ru

Определены все необходимые исходные данные и представлена оценка точности определения разрывных внутренних гидравлических давлений пожарных напорных рукавов по ранее полученной зависимости, которая учитывает особенности взаимодействия нитей в тканом армирующем каркасе рукава, а именно такие факторы, как экспериментально найденные величины коэффициентов вертикального смятия нитей, длины зон контакта между нитями, близкие к фактическим формы деформированных осей нитей в элементе ткани и другие параметры. Расчеты по полученной зависимости с найденными экспериментальным путем значениями параметров дают существенно более точные результаты по разрывным давлениям в пожарных напорных рукавах по сравнению с формулами других авторов.

All the necessary initial data are determined and the accuracy of the determination of the discontinuous internal hydraulic pressures of the pressure hose arms is estimated from the previously obtained formula that takes into account the interaction of the threads in the woven reinforcing armature of the hose, namely factors

such as the experimentally found values for the coefficients of the vertical yarn collapse, the lengths of the contact zones between filaments, close to the actual shape of the deformed axes of filaments in the tissue element and other parameters. Calculations from the obtained formula with experimentally determined values of the parameters give much more accurate results on bursting pressures in fire pressure arms compared with the formulas of other authors.

Ключевые слова: армирующий каркас (тканая несущая оболочка) пожарного напорного рукава, зависимость для расчета разрывных внутренних гидравлических давлений, коэффициенты вертикального смятия нитей, длины зон контакта между нитями.

Keywords: reinforcing frame (woven bearing shell) of the fire pressure hose, formula for calculating explosive internal hydraulic pressures, coefficients of vertical crushing of threads, length of contact zones between threads.

Ранее была получена зависимость для расчета разрывного внутреннего гидравлического

давления в пожарных напорных рукавах:

$$P_{\text{разр}} = \frac{2N_{\text{разр}}L_0}{R \left\{ L_y(2L_0 - \beta_0 d_0) + L_0 \left[2(L_y^2 + (d_0 \eta_{\text{ОВ}} + d_y \eta_{\text{УВ}})^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{0,212L_y^2(d_0 \eta_{\text{ОВ}} + d_y \eta_{\text{УВ}})^2}{(L_y^2 + (d_0 \eta_{\text{ОВ}} + d_y \eta_{\text{УВ}})^2)^{\frac{3}{2}}} - \beta_y d_y \right] \right\}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{разр}}$ – разрывное внутреннее гидравлическое давление в пожарном рукаве; $N_{\text{разр}}$ – натяжение в уточной нити при разрыве; R – радиус пожарного рукава; L_0 , L_y – геометрические плотности соответственно по основе и утку тканого формирующего каркаса пожарного рукава; d_0 , d_y , $\eta_{\text{ОВ}}$, $\eta_{\text{УВ}}$ – соответственно диаметры нитей основы и утка тканого армирующего каркаса пожарного рукава и коэффициенты их вертикального смятия; β_0 , β_y – коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка. Разрывное давление, определяемое по данной формуле, является одним из важнейших прочностных параметров ПНР при гидравлическом воздействии, регламентируемых стандартами на пожарные рукава [1].

Выполним расчет разрывных давлений в ПНР различных диаметров, произведенных на НПО "БЕРЕГ" (Российская Федерация) и рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа. В ПНР этого производителя используются как по основе, так и по утку полиэфиры нити различной линейной плот-

ности. Для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных рукавах по формуле (1) необходимо знать входящие в нее параметры тканого каркаса ПНР.

Диаметры основных d_0 и уточных d_y нитей принимались на основе данных производителя рукавов. Геометрические плотности по основе L_0 и утку L_y ткани армирующего каркаса ПНР назначались на основе экспериментальных данных работы [2], полученных путем измерений непосредственно на пожарных рукавах. Необходимые для расчета значения разрывных усилий уточных нитей $N_{\text{разр}}$ тканого армирующего каркаса рукава определялись по результатам испытаний нитей на разрыв на разрывной машине РМИ-250, полученных в [2].

В работах [2], [3] было указано на сложность точного определения величин вертикального смятия нитей тканых армирующих каркасов ПНР в момент разрыва. По нашему мнению, это задача чрезвычайной сложности и на данном уровне развития измерительной техники едва ли решается. Однако мы считаем, что при больших силах взаим-

ного давления между нитями и сильном смятии нитей в радиальном направлении в течение длительного времени влияние остаточных деформаций на величины смятия нитей, длины дуг контакта между нитями становится доминирующим, а роль упругой составляющей, которая исчезает после снятия нагрузки, незначительна. Поэтому даже после снятия внутреннего гидравлического давления в рукаве определение коэффициентов вертикального смятия основы и утка и длин дуг контакта между нитями с последующим использованием их в формулах по прочностному расчету ПНР целесообразно и может привести к увеличению точности расчетов. Величины коэффициентов вертикального смятия нитей основы $\eta_{ОВ}$ и утка $\eta_{УВ}$, длины дуг контакта между нитями, определялись нами на основе исследования зон контакта между нитями в рукавах различных диаметров при их разрезе. При этом использовался растровый электронный микроскоп JSM-6490LV, позволяющий исследовать микроструктуру и провести анализ поверхности различных материалов. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов статистики. В качестве примеров на рис. 1...4 представ-

лены фотографии зон контакта между нитями в армирующих каркасах ПНР производства НПО "БЕРЕГ" диаметров 66 и 77 мм, рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа, при разрезах вдоль нитей основы и утка при 50- и 40-кратном увеличении (фотографии рукава диаметром 66 при 40-кратном (рис. 1) и 50-кратном (рис. 2) увеличении; диаметром 77 мм: рис. 3 и рис. 4 (кратность аналогичная)).

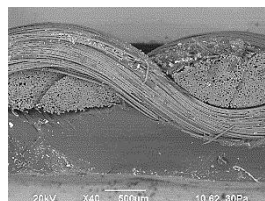


Рис. 1

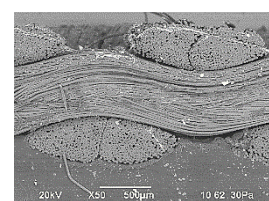


Рис. 2

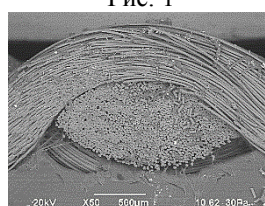


Рис. 3

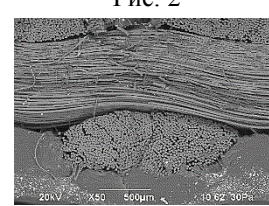


Рис. 4

В табл. 1 приведены исходные данные для прочностного расчета ПНР производства НПО "БЕРЕГ" при действии внутреннего гидравлического давления.

Таблица 1

Диаметр ПНР, мм	Диаметр нити основы, мм	Диаметр нити утка, мм	Коэффициент вертикального смятия нити основы	Коэффициент вертикального смятия нити утка	Коэффициент зоны контакта β_0	Коэффициент зоны контакта β_u	Геометрическая плотность по основе, мм	Геометрическая плотность по утку, мм	Усилие разрыва нити утка, Н
150	2,00	2,00	0,558	0,559	1,13	1,11	2,02	2,97	795
89	1,80	1,60	0,545	0,549	1,16	1,13	1,82	2,63	505
77	1,35	1,45	0,532	0,528	1,18	1,14	1,09	2,38	429
66	1,20	1,30	0,543	0,540	1,17	1,13	1,07	2,15	356
51	1,20	1,35	0,553	0,545	1,16	1,12	1,09	2,14	335

В табл. 2 представлены экспериментальные значения разрывных давлений в ПНР производства НПО "БЕРЕГ", рассчитанных на рабочее давление 1,6 МПа, полученные в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС РФ (г. Балашиха), разрывные давления в тех же рукавах, рассчитанные по формуле (37) [4], по

формуле (1) и по формуле Н.А.Тарасова-Агалакова (16) [6] при исходных данных, представленных в табл. 1. Здесь же дано расхождение в процентах расчетных значений разрывных давлений по данным формулам в сравнении с экспериментальными значениями разрывных давлений ВНИИПО в тех же ПНР.

Диаметр ПНР, мм	Экспериментальные значения разрывных давлений ПНР производства НПО "БЕРЕГ", рассчитанные на рабочее давление 1,6 МПа (по данным ВНИИПО), МПа	Расчетные значения разрывных давлений (по формуле (37) [4]), МПа	Превышение экспериментальных значений разрывных давлений по данным ВНИИПО над расчетными, (по формуле (37) [4]), %	Расчетные значения разрывных давлений (по формуле Н.А.Тарасова-Агалакова (16) [6]), МПа	Превышение расчетных значений разрывных давлений по формуле Н.А.Тарасова-Агалакова (16) [6] над экспериментальными данными ВНИИПО, %	Расчетные значения разрывных давлений (по формуле (1)), МПа	Расхождение между экспериментальными значениями разрывных давлений (по данным ВНИИПО) и расчетными (по формуле (1)), %
150	2,6	2,599	0,04	3,57	37,3	2,672	2,77
89	3,2	3,10	3,14	4,30	34,4	3,264	2,01
77	4,2	3,79	9,76	4,68	11,5	4,217	0,4
66	4,3	3,88	9,77	5,02	16,7	4,202	2,28
51	5,2	4,73	9,04	6,14	18,1	5,055	2,79

Анализ табл. 2 позволяет сделать вывод, что расчеты по формуле (1) с найденными экспериментальными значениями параметров дают существенно более точные результаты по разрывным давлениям в ПНР по сравнению с формулами других авторов. Поэтому формулу (1) можно рекомендовать для расчета и проектирования тканых армирующих каркасов ПНР.

Необходимо отметить, что наряду с разработкой методов расчета и проектирования важным этапом создания новых долговечных и надежных ПНР является выбор материала синтетических нитей их тканого армирующего каркаса. При эксплуатации ПНР подвергаются механическому износу, воздействию низких и высоких температур, действию солнечных лучей, необратимому процессу старения материала, случайному попаданию на них химически активных веществ и т.д. По этой причине к материалу синтетических нитей ПНР предъявляются повышенные требования, которые должны обладать высокой прочностью, сопротивляемостью абразивному истиранию, относительно высокой температурой плавления, стойкостью при действии химически активных веществ. Большинство ПНР, произведенных в России, изготавливаются из полиэфирных нитей на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ), обладающих незначительной сминаемостью, отличной свето- и атмосферостойкостью, относительно высокой проч-

ностью и температурой плавления, хорошей стойкостью к органическим растворителям. Однако их стойкость к истиранию недостаточна. Практика использования ПНР из полиэфирных нитей на основе ПЭТФ показывает, что основной причиной разрыва рукавов при эксплуатации является абразивный износ их поверхности. В связи с этим особенно актуальной становится проблема выбора материала нитей при производстве новых высокотехнологичных ПНР. На основе полученной нами формулы (1) выполнены необходимые расчеты, сделано обоснование и получены патенты РФ на полезную модель [7], [8] на использование в ПНР наряду с полиэфирными нитями нитей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ-нитей), относящихся наряду с углеродными и арамидными нитями к тройке "супернитей" и отличающихся от традиционных нитей исключительно высокой прочностью и сопротивляемостью абразивному истиранию. Мы считаем использование СВМПЭ-нитей одним из перспективных направлений для производства новых долговечных и высокотехнологичных ПНР.

В Ы В О Д Ы

1. Расчеты по формуле (1), учитывающей помимо прочих параметров найденные экспериментальными значения длин дуг контакта между основной и уточной ни-

тиями, величины коэффициентов вертикального смятия нитей, близкие к фактической длине деформированной оси основной нити дают существенно более точные результаты по разрывным давлениям в ПНР по сравнению с формулами других авторов.

2. Формулу (1) можно рекомендовать в качестве основы для расчета и проектирования тканых армирующих каркасов ПНР. На основе данной формулы выполнены необходимые расчеты, сделано обоснование и получены патенты на использование в ПНР наряду с полиэфирными нитями, нитей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ-нитей), отличающихся от традиционных нитей исключительно высокой прочностью и сопротивляемостью абразивному истиранию.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51049–97. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытания. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008.

2. Степанов О.С. Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, ИГТА, 2012.

3. 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.

4. Khudyakova T., Aitureyev M. Alkalies and magnesium oxide effect on clinker formation and portland cement hydration processes // *Industrial Technology and Engineering*. – №1 (26), 2018. P. 60...70.

5. Моторин Л.В., Степанов О.С., Братолобова Е.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гид-

равлическом воздействии // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2011, №.1. С.126...133.

6. Тарасов-Агалаков Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле. – М., 1959.

7. Степанов О.С., Чистобородов Г.И., Шомов П.А. Патент РФ на полезную модель №130859. 2013.

8. Степанов О.С., Степанов С.Г., Шомов П.А. Патент РФ на полезную модель № 140574. 2013.

REFERENCES

1. GOST R 51049–97. Tekhnika pozharnaya. Rukava pozharnye napornye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniya. – M.: IPK Izd-vo standartov, 2008.

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

3. Myrkhalikov 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.

4. Khudyakova T., Aitureyev M. Alkalies and magnesium oxide effect on clinker formation and portland cement hydration processes // *Industrial Technology and Engineering*. – №1 (26), 2018. P. 60...70.

5. Motorin L.V., Stepanov O. S., Bratolyubova E.V. Uproshchennaya matematicheskaya model' dlya prochnostnogo rascheta napornykh pozharnykh rukavov pri gidravlicheskom vozdeystvii // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2011, №.1. S.126...133.

6. Tarasov-Agalakov N.A. Prakticheskaya gidravlika v pozharnom dele. – M., 1959.

7. Stepanov O.S., Chistoborodov G.I., Shomov P.A. Patent RF na poleznuyu model' №130859. 2013.

8. Stepanov O.S., Stepanov S.G., Shomov P.A. Patent RF na poleznuyu model' № 140574. 2013.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных материалов ЮКГУ им. М. Ауэзова. Поступила 20.10.18.