

УДК 621.643.3.01-036.6

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

**Сильницкая Н.Ю., Якубовская С.В.**

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет» Минобрнауки России, Тюмень, e-mail: sv5508@mail.ru*

Выполнены экспериментальные исследования прочностных свойств муфтовых соединений армированных полиэтиленовых трубопроводов, применяемых при добыче и транспортировке нефти и газа. Результаты экспериментальных исследований имеют случайный характер. Они зависят от условий проведения опытов, точности измерительных приборов, идентичности испытываемых образцов и ряда других факторов. Разработана и апробирована методика проведения экспериментальных исследований. Для эксперимента были спланированы конкретные условия его проведения, приближенные к условиям эксплуатации промышленных трубопроводов. Обработка результатов эксперимента осуществлялась с использованием методов математической статистики. По результатам экспериментальных исследований получена среднестатистическая величина разрушающего внутреннего давления участка промышленного полиэтиленового трубопровода с муфтовым соединением, определена величина предела прочности соединений армированных полиэтиленовых трубопроводов электромуфтой при заданных конструктивных ее параметрах.

**Ключевые слова:** армированные полиэтиленовые трубопроводы, муфтовые соединения, прочность

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE COUPLING JOINTS STRENGTH PROPERTIES OF THE POLYETHYLENE PIPELINES

**Silnitskaya N.Y., Yakubovskaya S.V.**

*FSFEI of HVE «Tyumen state oil and gas university» of Ministry of Education and Science, Tyumen, e-mail: sv5508@mail.ru*

Experimental studies of couplings strength properties reinforced plastic piping used in the production and transportation of oil and gas. The results of experimental studies have random nature. They depend on conditions of carrying out experiences, accuracy of measuring devices, identity of the tested samples and some other factors. The technique of carrying out experimental studies is developed and approved. For experiment the specific conditions of its carrying out approached to service conditions of field pipelines were planned. Processing of the experimental results was carried out using the methods of mathematical statistics. According to the experimental results the average value of destructive internal pressure area fishing polyethylene pipe with a coupling is obtained, the magnitude of the tensile strength of joints reinforced polyethylene pipes with electric coupling under given its design parameters.

**Keywords:** polyethylene pipelines, coupling joints, strength

На поддержание промышленных трубопроводов в работоспособном состоянии эксплуатирующие организации затрачивают огромные средства. В рамках повышения надежности этих трубопроводов в последнее время все чаще стали применяться армированные полиэтиленовые трубы, соединения которых в нитку осуществляется при помощи муфт. Практика натурных наблюдений за эксплуатацией вновь проложенных участков из полиэтилена показывает, что инциденты с выходом нефти происходят преимущественно в результате порывов в местах муфтовых соединений. В итоге на устранение последствий инцидентов с разрывом околomuфтовой зоны трубы затрачиваются значительные экономические ресурсы, наносится непоправимый ущерб природе. Несмотря на это, нормативная база в области эксплуатации полимерных труб с муфтовыми соединениями в настоящее время практически отсутствует. В существующей нормативно-технической документации не обозначены специальные условия

эксплуатации муфтовых соединений армированных полиэтиленовых труб для объектов промысла нефти и газа. Не определена прочность данных соединений, открыт вопрос их надежности [2, 4, 5, 6]. В связи с этим проблема надежности соединений полиэтиленовых армированных трубопроводов систем сбора и подготовки углеводородного сырья является актуальной.

**Цель исследований** – определение величины разрушающего давления для участка промышленного полиэтиленового трубопровода с муфтовым соединением.

### Методика проведения исследований

#### Планирование экспериментальных исследований

При планировании экспериментов были использованы вероятностные подходы. Результаты экспериментальных исследований имеют случайный характер. Они зависят от условий проведения опытов, точности измерительных приборов, идентичности испытываемых

образцов, квалификации персонала и ряда других факторов. Для эксперимента были спланированы конкретные условия его проведения, приближенные к условиям эксплуатации промышленных трубопроводов.

Были проведены испытания участков трубы, изготовленной из полиэтилена ПЭ 80 с армирующим материалом – арамидной нитью (армирование двухслойное), с муфтовым соединением.

Испытания были проведены на действие внутреннего давления от 0 МПа до  $P_{кр}$  (до разрыва). Эксперимент проводился при температуре 20–25 °С. Параметры и характеристики испытываемых образцов: длина образца – 1350 мм; диаметр наружный – 138 мм; диаметр внутренний – 107 мм, длина муфты – 200 мм. Испытательная жидкость – вода, скорость роста давления не более 1 МПа/мин.

Для проведения эксперимента использовался стенд для испытаний труб (рис. 1) с микропроцессором «Resato».

Для определения необходимого количества испытаний использовалось соотношение

$$N = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где  $N$  – необходимое количество выборочных данных;  $\sigma^2$  – дисперсия выборочных данных;  $t$  – коэффициент доверия;  $\Delta$  – предельная ошибка выборки.

Величина предельной ошибки выборки составляет 0,15 [3]. Максимальная дисперсия для выбранного нормального закона распределения принята равной 0,25 согласно рекомендациям [3]. Рекомендуемый коэффициент доверия при заданном уровне надежности  $\gamma = 0,96$  равен 3.

$$N = \frac{3^2 \cdot 0,25}{0,15^2} \approx 100.$$

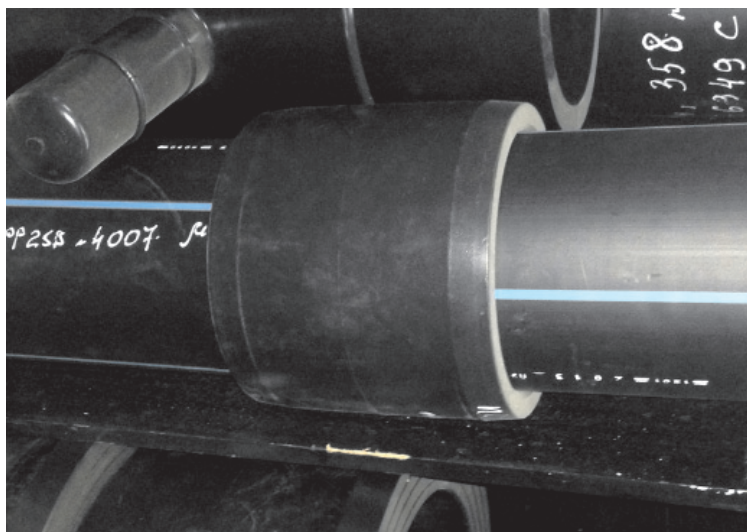


Рис. 1. Участок полиэтиленового трубопровода с муфтовым соединением

Испытания проводились на 100 трубчатых образцах. Соединяемые трубы были изготовлены в виде отрезков трубы полого сечения, вырезанных вдоль конца трубы без изменения структуры и механических свойств материала. Образцы были оборудованы заглушками, изготовленными из нержавеющей стали.

Образец трубопровода с муфтовым соединением после разрушения представлен на рис 2.

По полученной величине разрушающего давления проведена оценка прочностных характеристик участка промышленного полиэтиленового трубопровода с муфтовым соединением.

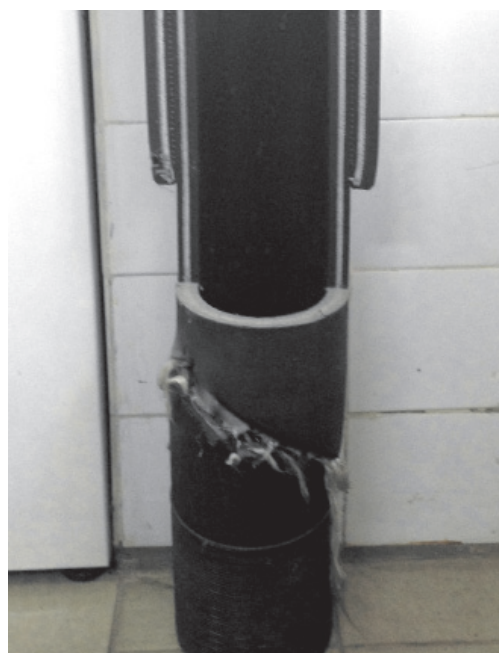


Рис. 2. Разрушение трубопровода

**Обработка результатов  
экспериментальных исследований  
муфтовых соединений  
полиэтиленовых труб**

В табл. 1 представлена выборка результатов экспериментальных исследований по определению прочностных характеристик соединений полиэтиленовых труб электромуфтой.

Расчет напряжений в окружном направлении  $\sigma$  (МПа) выполнен по следующему соотношению:

$$\sigma = \frac{P(d - 2\delta)}{2\delta}, \quad (2)$$

где  $P$  – внутреннее давление, МПа;  $d$  – наружный диаметр трубы, мм;  $\delta$  – толщина стенки трубы, мм.

С использованием методов математической статистики был выполнен подсчет числа выборочных данных  $v_j$ , попавших в каждый ( $j$ -й) интервал группирования ( $j = 1, 2, \dots, \mu$ ). Были определены значения функции распределения вероятностей  $F^{(n)}(U_1)$  и плотности функции распределения вероятностей  $f^{(n)}(U_1)$ . Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Оценка соответствия результатов эксперимента нормальному закону распределения проведена по критерию согласия  $\chi^2$  Пирсона [1]. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Значение вероятности попадания в  $j$ -й интервал группирования:

$$p_j = \Phi\left(\frac{c_j - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}\middle|0;1\right) - \Phi\left(\frac{c_{j-1} - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}\middle|0;1\right), \quad (3)$$

где  $\Phi\left(\frac{c_j - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}\middle|0;1\right)$  – функция нормального

закона распределения;  $a_{\text{мп}}$  – математическое ожидание;  $\sigma_{\text{мп}}$  – среднеквадратическое отклонение;  $c_{j-1}, c_j$  – левая и правая граничные точки  $j$ -го интервала группирования.

Значения функций  $\Phi\left(\frac{c_j - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}\middle|0;1\right)$  опре-

делялись из стандартной нормальной функции распределения [1]. Величина критической статистики  $\gamma_{(n)}$ . В рассматриваемом случае – это сумма чисел последней строки таблицы 3 –  $\gamma_{(n)} = 1,56$ .

**Таблица 1**

Выборка результатов экспериментальных исследований

Показатели	Элементы выборки							
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	$U_8$
Внутреннее давление $P$ , МПа	4	5,2	6,7	7,5	8,4	9,3	10,2	12
Напряжение $\sigma$ , МПа	13	17	22	24	27	30	33	39
Количество разрушенных образцов $n$	1	3	12	19	30	25	8	2
Вероятность $p$	0,01	0,03	0,12	0,19	0,30	0,25	0,08	0,02

**Таблица 2**

Результаты расчетов функции распределения и плотности распределения вероятностей

$j$ – номер интервала группировки	Значение $U_1$ $c_{j-1} \leq U_1 \leq c_j$	Середина интервала $U_{0j}^1$	$v_j$	$v_1 + v_2 + \dots + v_{jx}$	$F^{(n)}(U_1)$	$f^{(n)}(U_1)$
1	$13 \leq U_1 \leq 16,25$	14,63	1	0	0	0,003
2	$16,25 \leq U_1 \leq 19,5$	17,88	3	1	0,01	0,009
3	$19,5 \leq U_1 \leq 22,75$	21,13	12	4	0,04	0,04
4	$22,75 \leq U_1 \leq 26$	24,38	19	16	0,16	0,06
5	$26 \leq U_1 \leq 29,25$	27,63	30	35	0,35	0,09
6	$29,25 \leq U_1 \leq 32,5$	30,88	25	65	0,65	0,08
7	$32,5 \leq U_1 \leq 35,75$	34,13	8	90	0,90	0,03
8	$35,75 \leq U_1 \leq 39$	37,38	2	98	0,98	0,006
	$U_1 \leq 39$			100	1	

Таблица 3

Оценка соответствия результатов эксперимента нормальному закону распределения

$j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$c_j$	13	16,25	19,5	22,75	26	29,25	32,5	35,75	39
$\frac{c_j - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}$	-3,25	-2,51	-1,78	-1,04	-0,30	0,44	1,17	1,91	2,65
$\Phi\left(\frac{c_j - a_{\text{мп}}}{\sigma_{\text{мп}}}\middle 0;1\right)$	0,001	0,006	0,038	0,149	0,367	0,663	0,879	0,972	0,996
$p_j$	-	0,005	0,032	0,111	0,218	0,296	0,216	0,093	0,024
$np_j$	-	0,56	3,22	11,08	21,77	29,59	21,62	9,29	2,37
$v_j$	-	1	3	12	19	30	25	8	2
$(v_j - np_j)^2$	-	0,19	0,05	0,85	7,67	0,17	11,42	1,66	0,14
$\frac{(v_j - np_j)^2}{np_j}$	-	0,35	0,02	0,08	0,35	0,01	0,53	0,18	0,06

Критическая статистика  $\gamma_{(n)}$  не должна превышать 5%-ной точки распределения  $\chi_{0,05}^2$ . Проверялась гипотеза о нормальности распределения совокупности экспериментальных данных по представленной выборке. Значение  $\chi_{0,05}^2(2) = 6,07$  получено в соответствии с таблицами [1], где представлено согласно закону нормального распределения их статистики.

Таким образом, распределение прочностных характеристик образцов как случайных величин соответствует нормальному закону распределения ( $\gamma_{(n)} < \chi_{0,05}^2(5)$ ).

В табл. 4 представлены среднестатистические результаты испытаний муфтовых соединений армированных полиэтиленовых трубопроводов на внутреннее давление.

Таблица 4

Среднестатистические результаты испытаний соединений армированных труб на внутреннее давление

Номинальный наружный диаметр трубы $d_2$ , мм	140
Номинальная толщина стенки трубы $\delta_1$ , мм	16,5
Разрушающее давление ( $P_{\text{кр}}$ ) при 20°C, МПа	8,4
Напряжение $\sigma_{\text{вр}}$ , МПа	27,3

На основе проведенных экспериментальных исследований и статистической обработки экспериментальных данных с позиции теории вероятностей определена величина предела прочности ( $\sigma_{\text{вр}} = m_{U_1} = 27,3$  МПа) соединений армированных полиэтиленовых трубопроводов заданных конструктивных параметров электромфтой.

#### Выводы

– определено необходимое количество опытов для проведения экспериментальных исследований;

– по результатам экспериментов получена среднестатистическая величина разрушающего внутреннего давления ( $P_{\text{кр}} = 8,4$  МПа) участка промыслового полиэтиленового трубопровода с муфтовым соединением;

– определена величина предела прочности ( $\sigma_{\text{вр}} = 27,3$  МПа) соединений армированных полиэтиленовых трубопроводов электромфтой при заданных конструктивных ее параметрах.

#### Список литературы

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика в задачах и упражнениях. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 272 с.
2. Иванов В.А., Савченко Н.Ю. Оценка надежности соединений полиэтиленовых трубопроводов // Известия высших учебных заведений // Нефть и газ. – 2011. – № 2. – С. 57–61.
3. Савченко Н.Ю. Надежность муфтовых соединений полиэтиленовых трубопроводов // Известия высших учебных заведений // Нефть и газ. – 2013. – № 5. – С. 77–82.
4. Якубовская С.В. Оценка конструктивной надежности газонефтепроводных и сборных сетей из полимерных материалов // Нефтесервис. – 2005. – № 4. – С. 36.
5. Якубовская С.В., Савченко Н.Ю. Оценка конструктивной надежности муфтовых соединений полиэтиленовых трубопроводов // Oil & Gas Journal Russia. – 2011. – № 4. – С. 86.

#### References

1. Ajvazjan S.A., Mhitarjan V.S. Prikladnaja statistika v zadachah i uprazhnenijah. M.: JuNITI, 2001. 272 p.
2. Ivanov V.A., Savchenko N.Ju. Ocenka nadezhnosti soedinenij polijetilenovyh truboprovodov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft i gaz. 2011. no. 2. pp. 57–61
3. Savchenko N.Ju. Nadezhnost muftovyh soedinenij polijetilenovyh truboprovodov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft i gaz. 2013. no. 5. pp. 77–82.
4. Jakubovskaja S.V. Ocenka konstruktivnoj nadezhnosti gazonefteraspredelitelnyh i sbornyh setej iz polimernyh materialov // Nefteservis. 2005. no. 4. pp. 36.
5. Jakubovskaja S.V., Savchenko N.Ju. Ocenka konstruktivnoj nadezhnosti muftovyh soedinenij polijetilenovyh truboprovodov // Oil & Gas Journal Russia. 2011. no. 4. pp. 86.

#### Рецензенты:

Тарасенко А.А., д.т.н., профессор, генеральный директор ТРО ООО «Ассоциация инженерного образования России», г. Тюмень;  
Гречин Е.Г., д.т.н., профессор каф. № 7, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 10.04.2015.