

УДК 678.01:539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВХОДЯЩИХ В КОНСТРУКЦИЮ ГИБКОЙ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

А.А. Синюгин, В.Б. Опарин, М.В. Петровская

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Показана конструкция гибкой полимерно-металлической трубы, применяемой на нефтяных промыслах, изучены механические свойства полимерных материалов, составляющих конструкцию трубы: полиэтилена низкого давления, поливинилхлорида и полипропилена, из которых изготавливаются внутренняя герметизирующая камера гибкой трубы, гидроизоляционные слои и грузонесущие элементы соответственно. Целями исследования является определение механических характеристик исследуемых материалов на разрыв, а также определение целесообразности скручивания полипропиленового шпата во время сборки трубы. Описаны процессы изготовления образцов для испытания материалов и режимы испытаний, представлены фотографии образцов, получены значения предела прочности, условного предела текучести и модуля Юнга для каждого из трех полимеров и графики зависимости нагрузок от величины деформации.

Ключевые слова: полимер, полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилен низкого давления, механические свойства, предел прочности, условный предел текучести, модуль Юнга.

Вопросам повышения коррозионной устойчивости промысловых трубопроводов, а также уменьшения времени на строительство выкидных линий полностью отвечают гибкие полимерно-металлические трубы (ГПМТ), выпускаемые рядом российских заводов. Их основной особенностью является то, что поверхности контакта труба/продукт и труба/грунт выполнены из полиэтилена.

Рассматриваемая в работе конструкция [1] ГПМТ представлена на рис. 1.

Для изготовления ГПМТ [2] используются пять материалов:

- ПНД (полиэтилен низкого давления);
- ПВД (полиэтилен высокого давления);
- ПВХ (поливинилхлорид);
- ПП (полипропилен);
- сталь конструкционная пружинно-рессорная.

Для проведения прочностных расчетов и моделирования ГПМТ необходимо знать механические характеристики составляющих трубу материалов и их диаграммы прочности, которые неизвестны.

Александр Александрович Синюгин, ассистент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Владимир Борисович Опарин (д.ф.-м.н., проф.), профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Марина Владимировна Петровская (к.ф.-м.н.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

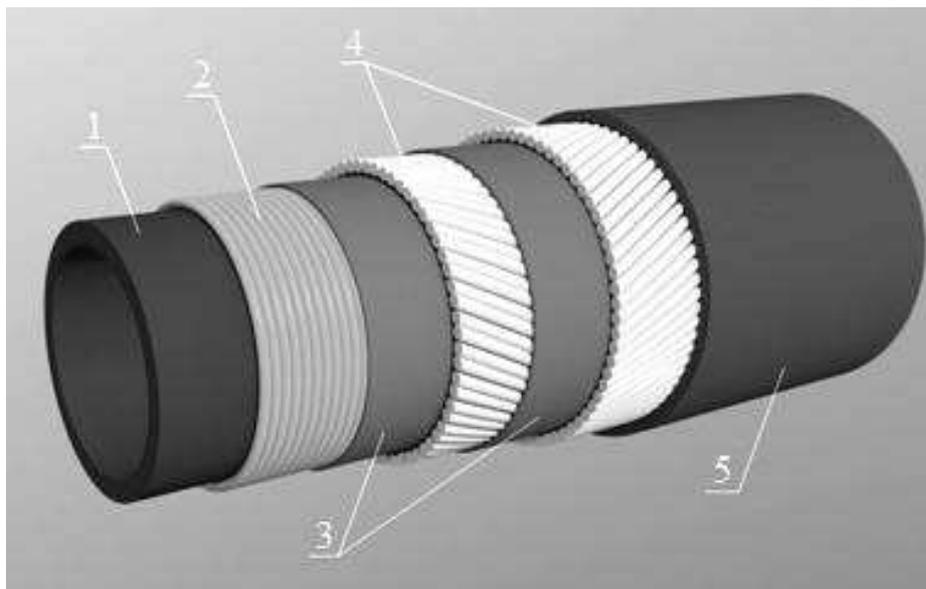


Рис. 1. Конструкция ГПМТ:

1 – внутренний слой ПНД; 2 – стальной проволочный бандаж ($d=3$ мм);
 3 – ленты ПВХ (внутренняя и внешняя); 4 – слои повивов из ПП шпагата
 ($d=4$ мм) (внутренний и внешний); 5 – внешний слой ПВД

Применяемая в конструкции стальная проволока проволочного бандажа [3] выполняется из конструкционных сталей марок Сталь 55, 60, 65, ее механические характеристики указаны в ГОСТ [4].

Механические свойства полимерных материалов могут варьироваться в широких пределах. Важным вопросом является характер зависимостей нагрузка/деформация для них.

Исследования ПВД не проводились, так как его свойства сопоставимы со свойствами ПНД, а изготовленная из ПВД внешняя камера не участвует в процессе восприятия радиальных и осевых нагрузок.

Были определены свойства полипропиленового шпагата диаметром 4 мм, используемого для изготовления грузонесущих элементов ГПМТ.

На базе кафедры «Механика» СамГТУ были проведены испытания на разрывной машине, в рамках которых было исследовано 10 образцов шпагатов с длиной рабочей части 75 мм. Для обеспечения закрепления в зажимах разрывной машины концы шпагата были закреплены в цилиндры длиной 40 мм из алюминиевой трубки диаметром 9 мм, после чего залиты эпоксидной смолой.

В экспериментах на разрывной машине Instron 5988, рекомендованной для подобных испытаний [5], определялись как предел прочности и текучести шпагата, так и влияние его скручивания на прочностные характеристики. Скорость растяжения была постоянной и составила 50 мм/мин [6].

Графики зависимости нагрузки от абсолютного и относительного удлинения представлены на рис. 2 (здесь и далее в целях наглядности графики смещены по оси абсцисс).

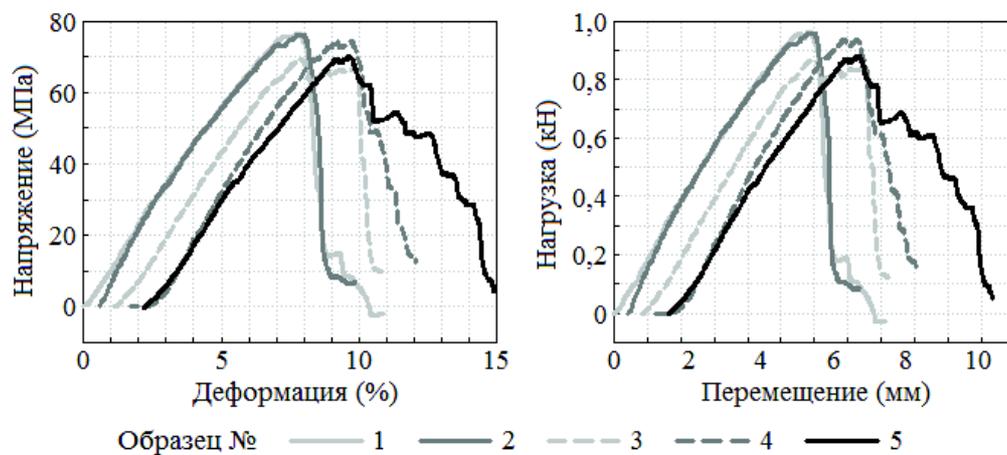


Рис. 2. Графики зависимости нагрузки от относительного и абсолютного удлинений для нескрученных образцов ПП

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные результаты исследования механических свойств нескрученных образцов ПП

№ образца	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Отн. деформация при разрушении, %	Модуль Юнга, МПа
1	77,04	74,78	7,78	1303,22
2	76,71	74,09	7,45	1571,90
3	69,73	62,90	6,80	1267,13
4	75,07	69,37	7,56	1376,46
5	70,46	65,81	7,46	1292,54
Минимум	69,73	62,90	6,80	1276,13
Максимум	77,04	74,78	7,78	1571,90
Среднее	73,80	69,39	7,41	1362,25

Аналогичные данные для пяти предварительно скрученных образцов представлены на рис. 3 и в табл. 2.

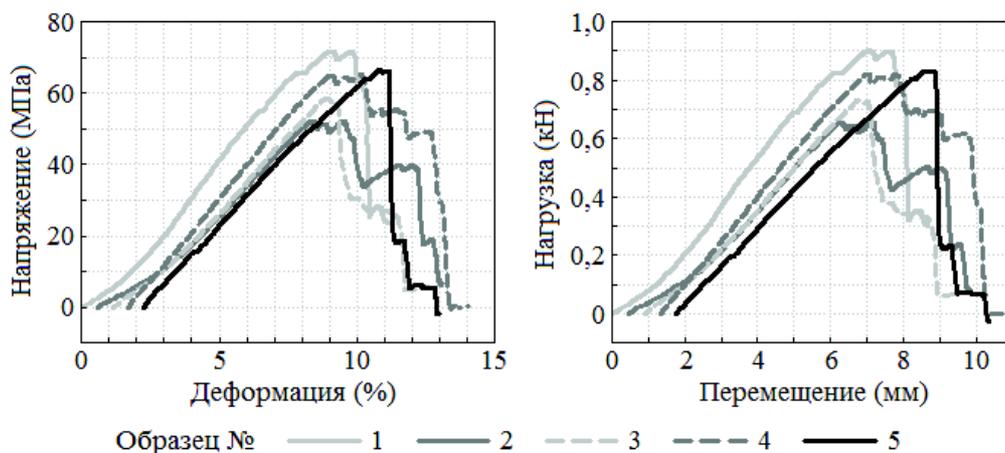


Рис. 3. Графики зависимости нагрузки от относительного и абсолютного удлинений для скрученных образцов ПП

Таблица 2

Основные результаты исследования механических свойств скрученных образцов ПП

№ образца	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Отн. деформация при разрушении, %	Модуль Юнга, МПа
1	77,22	75,04	9,08	1075,37
2	52,61	48,75	7,78	866,45
3	59,10	53,84	7,79	888,87
4	66,22	59,91	7,47	974,88
5	66,87	64,21	8,65	868,93
Минимум	52,61	53,84	7,47	866,45
Максимум	72,22	75,04	9,08	1075,37
Среднее	63,41	60,35	8,15	934,90

Также были проведены прочностные испытания полиэтилена низкого давления и поливинилхлоридной ленты, из которой выполнены гидроизолирующие слои.

Образцы ПНД были изготовлены из применяемого материала при изготовлении ГПМТ D_y 100 мм (толщина стенки внутренней камеры 10 мм). Ширина изготовленных образцов из ПНД составила 2,5 мм, длина – 180 мм (из которых рабочая часть 100 мм). Образцы ПВХ изготавливались из полученной от завода-изготовителя пленки толщиной 0,8 мм, длина образцов 250 мм (длина рабочей части 150 мм), ширина – 25 мм. В целях предотвращения выскальзывания и обрывки краями зажима ленты на части образца, предназначенные для фиксации в зажимах разрывной машины, была наклеена бумага.

Режим растяжения ПНД был аналогичен предыдущему эксперименту с ПП

шпагатами и составил 50 мм/мин, а для ПВХ – 25 мм/мин.

На рис. 4 и 5 изображены графики зависимости нагрузки и напряжения от относительного и абсолютного удлинения.

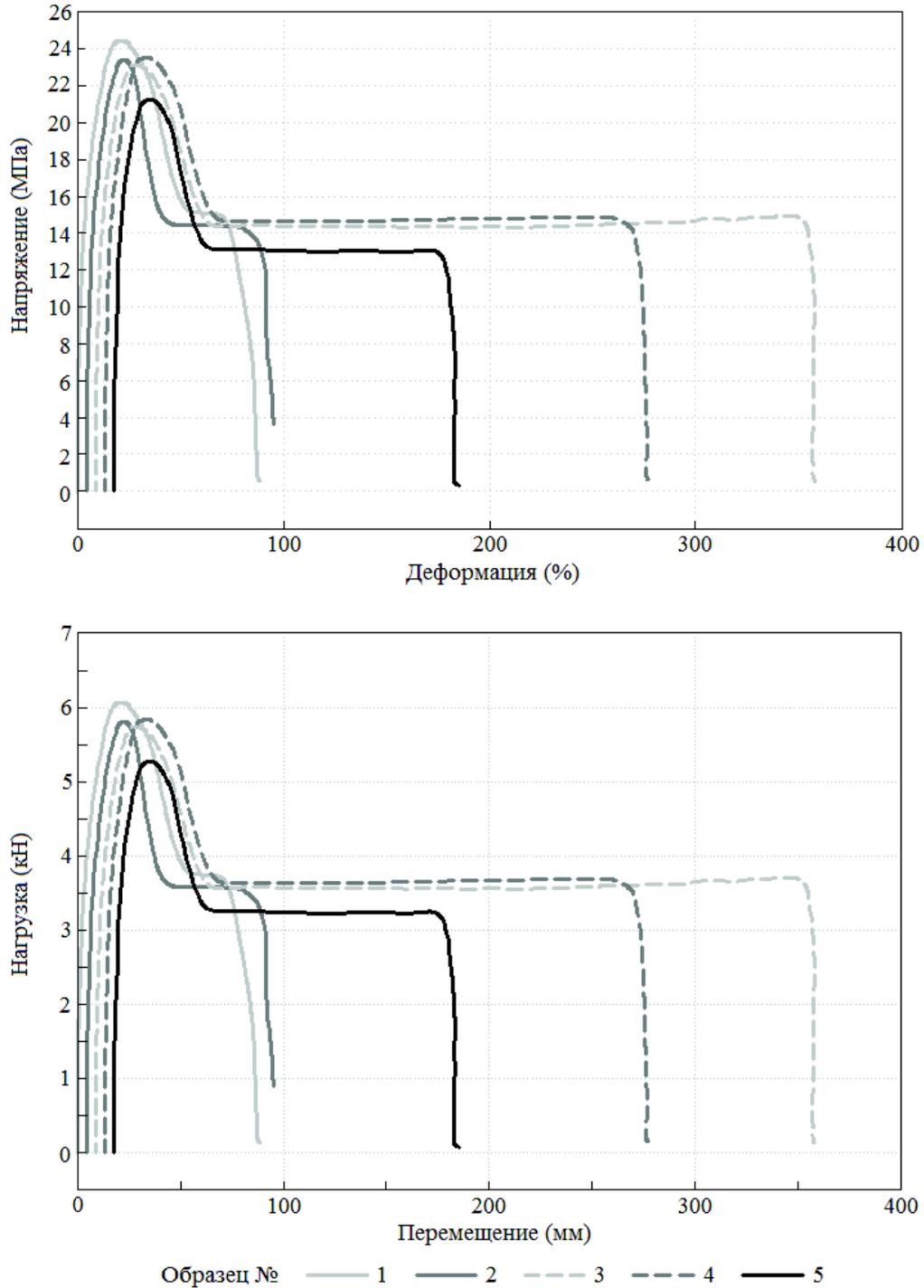


Рис. 4. Графики зависимости нагрузки и напряжения в образцах ПНД от удлинения

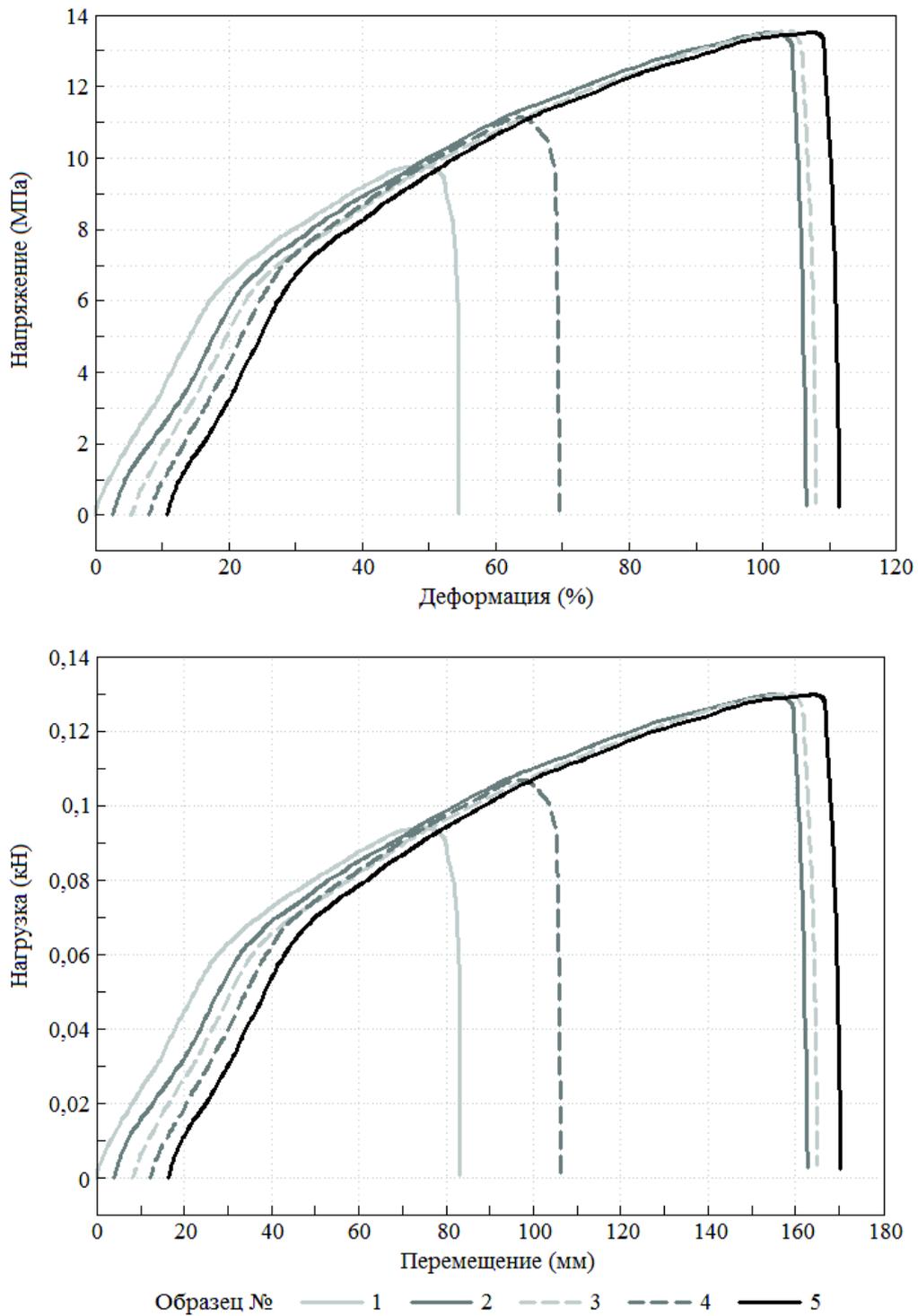


Рис. 5. Графики зависимости нагрузки и напряжения в образцах ПНД от удлинения

Результаты испытания образцов ПНД и ПВХ представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Основные результаты исследования механических свойств образцов ПНД

№ образца	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Отн. деформация при разрушении, %	Модуль Юнга, МПа
1	24,40	24,39	17,58	1069,16
2	23,32	23,27	15,50	1037,76
3	23,07	22,88	17,33	898,32
4	23,44	23,43	17,25	1022,23
5	21,08	21,06	15,36	929,75
Минимум	21,08	21,06	15,36	898,32
Максимум	24,40	24,39	17,58	1069,16
Среднее	23,06	23,02	16,60	991,44

Таблица 4

Основные результаты исследования механических свойств образцов ПВХ

№ образца	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Отн. деформация при разрушении, %	Модуль Юнга, МПа
1	9,80	9,67	49,12	36,28
2	13,38	13,27	100,17	32,12
3	13,55	13,54	99,05	33,47
4	11,08	9,98	55,41	40,32
5	13,55	13,53	97,22	36,60
Минимум	9,80	9,67	49,12	32,12
Максимум	13,55	13,54	100,17	40,32
Среднее	12,27	11,99	80,19	35,76

В результате проведенных экспериментов были определены такие средние, минимальные и максимальные механические характеристики полимерных компонентов ГПМТ, как предел прочности, условный предел текучести, модуль упругости, а также получены графики деформации материалов. Результаты эксперимента не противоречат указанным в нормативной документации значениям мехсвойств [7, 8, 9]. Полученные данные позволят не только модернизировать прочностные расчеты ГПМТ, но и проводить компьютерное моделирование как ГПМТ в целом, так и ее фрагментов, в том числе с деформациями по мультилинейным законам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ТУ2248-007-54031385-12. Трубы гибкие полимерно-металлические «Поликорд-Флекс» для закачки пластовых сточных вод. – Отрадный, 2012. – 12 с.
2. Инструкция по сборке ГПМТ в цехе № 2. – Отрадный, 2004. – 17 с.
3. ГОСТ 7372. Проволоки стальная канатная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
4. ГОСТ 14959. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2006. – 13 с.
5. ISO 527-2:2012. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. – 11 с.
6. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 16 с.
7. ГОСТ 26996-86. Полипропилен и сополимеры полипропилена. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 36 с.
8. ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 33 с.
9. ГОСТ 14332-78. Поливинилхлорид суспензионный. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 15 с.

Статья поступила в редакцию 13 октября 2015 г.

THE DETERMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMERS COMPRISING A FLEXIBLE PIPE

A.A. Sinugin, V.B. Oparin, M.V. Petrovskaya

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper describes the structure of a flexible pipe used in oil fields. The mechanical properties of the three materials comprising the pipe structure (polypropylene, polyvinyl chloride, and high-density polyethylene from which the pipe hermetic inner chamber, damp proof layers, and load-bearing components are made respectively) are studied. The selected objects of study are to determine the tensile stress of the materials in question, as well as to determine the efficiency of polypropylene twine twisting during the pipe assembly. The production of the samples for material testing, and the test conditions are described, the photos of the samples being presented. The values of ultimate tensile stress, offset yield point and Young's modulus for each of the three polymers are obtained, the graphs of the dependency of loads on deformation magnitude being given.

Keywords: *polymer, polypropylene, polyvinyl chloride, high density polyethylene, mechanical properties, tensile strength, yield strength, Young's modulus.*

Alexander A. Sinugin, Assistant.

Vladimir B. Oparin (Dr. Sci. (Phys. & Math.)), Professor.

Marina V. Petrovskaya (Ph.D. (Phys. & Math.)), Associate Professor.