

DOI: 10.32864/polymmattech-2019-5-1-79-87

УДК 678.742.21

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРИРОДНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Ж. Н. ГРОМЫКО<sup>+</sup>, А. С. НЕВЕРОВ, О. А. ЕРМОЛОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь

*Наиболее эффективную защиту от коррозии обеспечивают на поверхности металлоизделий ингибированные полимерные пленки, в качестве механического защитного барьера. В Белорусском государственном университете транспорта разработана технология введения в полиэтиленовую матрицу в качестве ингибирующих модификаторов природных углеводородов.*

*Цель работы — изучение физико-механических характеристик композиционных материалов на основе полиэтилена низкого давления, модифицированного нефтью или отходами нефтедобычи; оценка их антикоррозионной эффективности.*

*В результате проведенных физико-механических испытаний установлено, что предел прочности полимерных пленок, ингибированных нефтью, значительно снижается с увеличением концентрации ингибитора. Установлены экстремальные зависимости эластичности пленочных образцов от содержания нефти. Максимальное значение удлинения при растяжении имеют образцы, содержащие 15 мас.% для легкой нефти и 10 мас.% для композитов с тяжелой нефтью. Это, вероятно, связано с гомогенизацией смеси полимер–нефть, обусловленной равномерным распределением молекул нефти между макромолекулами ПЭНД при высоких концентрациях, снижением межмолекулярного взаимодействия цепей полимера и, как следствие, увеличением относительной деформации композиционных материалов на основе ПЭНД, ингибированных нефтью.*

*В условиях производственной лаборатории проведены ускоренные коррозионные испытания. Установлено, что на поверхности металлических образцов, помещенных в герметичные упаковки или размещенных в открытой таре с блочными образцами на основе разработанных материалов состава ПЭНД–нефть/шлам, формируется защитная адсорбционная пленка, препятствующая коррозионному разрушению металлоизделий.*

*Разработанные материалы на основе ПЭНД–нефть/шлам сочетают в себе удовлетворительные физико-механические характеристики и высокую антикоррозионную эффективность, отвечают требованиям, предъявляемым к консервационно-упаковочным материалам, и могут быть рекомендованы к промышленному производству и применению на предприятиях для совмещенной консервации–упаковки металлоизделий.*

**Ключевые слова:** полиэтиленовые пленки, нефть, шлам, разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве, антикоррозионная эффективность.

## PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIAL BASED ON POLYETHYLENE MODIFIED NATURAL HYDROCARBONS

ZH. N. HROMYKO<sup>+</sup>, A. S. NEVEROV, O. A. ERMOLOVICH

Belarusian State University of Transport, Kirova St., 34, 246653, Gomel, Belarus

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: Hromyko.Zhanna@gmail.com

*The most effective protection against corrosion is provided by the creation of a mechanical barrier on the surface of metal products in the form of inhibited polymer films. A technology for introduction into a plastic matrix of natural hydrocarbons as inhibitory modifiers is developed at Belarusian State University of Transport.*

*The purpose of the work is to study the physical and mechanical characteristics of composite materials based on high density polyethylene (HDPE) modified by crude oil or waste oil, evaluation of their anti-corrosion efficiency.*

*As a result of physical and mechanical tests, it was found that the tensile strength of polymer films inhibited by oil is significantly reduced with increasing inhibitor concentration.*

*Extreme dependence of the elasticity of the film samples is installed. The maximum tensile elongation value is 15 wt.% for light oil and 10 wt.% for heavy oil composites. This is probably due to the homogenization of the polymer–oil mixture due to the uniform distribution of oil molecules between the macromolecules of HDPE at high concentrations, a decrease in the intermolecular interaction of polymer chains and, consequently, an increase in the relative deformation of composite materials based on HDPE inhibited by oil.*

*Accelerated corrosion tests were carried out in the production laboratory. It is established that on the surface of metal samples placed in sealed packages or placed in an open container with a filler on the basis of the developed materials of the HDPE–oil/sludge composition, a protective adsorption film is formed that prevents corrosion destruction of metal products.*

*The developed materials based on HDPE–oil/sludge combine satisfactory physical and mechanical characteristics and high anti-corrosion efficiency, conformed to requirements for conservation and packaging materials, and can be recommended for industrial production and use in enterprises for combined conservation-packaging of metal items.*

**Keywords:** polyethylene films, oil, sludge, tensile stress, tensile strain, anti-corrosion materials.

## Введение

Широкая область и разнообразные условия применения металлоизделий обусловили появление огромного количества гидроизоляционных и антикоррозионных материалов, отличающихся по назначению, природе их основы и ингибиторов, технологиям переработки и областям применения [1, 2]. Использование в этих целях полимерных пленок ограничено их относительно высокой стоимостью и, в случае применения в качестве упаковочного материала для металлических изделий, сравнительно низкой антикоррозионной эффективностью. Наполнение полимерной матрицы ингибиторами коррозии повышает их способность подавлять коррозионное разрушение материалов, но при этом повышает стоимость композиционного материала и, следовательно, ограничивает область его применения. Известно, что введение в полиэтиленовые пленки жидких производных нефти (минеральных масел) увеличивает гидрофобность пленок и, как следствие, способствует барьерной защите от коррозии [3]. Однако использование природных углеводородов в качестве наполнителя для создания гидроизоляционных и антикоррозионных материалов на основе полиолефинов остается недостаточно изученной областью исследования.

Тем не менее, в настоящее время существует проблема утилизации отходов нефтедобычи, образующихся в результате технологического процесса переработки нефти или её транспортировки, в виде проливов, протечек и т. д., переработка которых затруднена. Использование отходов в качестве напол-

нителей полимерных материалов может быть эффективным решением определенной части экологических проблем и позволит исключить/снизить использование дорогостоящих ингибиторов коррозии. В связи с этим изучение закономерностей влияния нефти различного состава, а также отходов её переработки (шлама), на деформационно-прочностные характеристики композиционных пленок, созданных на основе полиэтилена низкого давления (ПЭНД), представляет особый интерес.

Степень защиты металлоизделий от неблагоприятных факторов во многом зависит от деформационно-прочностных и барьерных характеристик упаковочного материала. Нарушение целостности покрытий и пленок приводит к снижению, частичной или полной потере их изолирующей способности. Поэтому одним из главных требований, предъявляемым к новым упаковочным композиционным материалам для консервации и упаковки металлопродукции, является улучшение их деформационно-прочностных характеристик.

**Цель работы** — изучение физико-механических характеристик композиционных материалов на основе полиэтилена низкого давления (ПЭНД), модифицированных нефтью или отходами её переработки; оценка их антикоррозионной эффективности.

## Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили пленочные и блочные образцы, на основе ПЭНД марки 277-03 (ГОСТ 16338). В качестве модификаторов полимерной матрицы использовали сырую нефть (тяжелую и

легкую), отобранную из скважины № 70 Осташковичского месторождения, а также отходы нефтедобычи (шлам), массовая доля которых в образцах составляла от 5 мас.% до 20 мас.%. Характеристики нефтей, использованных в качестве модификаторов, приведены в табл. 1.

Пленочные образцы в лабораторных условиях готовили методом горячего прессования композиций на гидравлическом прессе ПППР с электрообогреваемыми плитами при температуре  $150 \pm 5$  °С и давлении 5 МПа. Блочные образцы изготавливали методом литья под давлением расплавленной композиции в формах в виде цилиндров диаметром 7 мм и высотой 10–15 мм.

Процентное содержание нефти в готовой пленке оценивали путем взвешивания полученного образца после удаления с поверхности остатков несвязанной нефти/шлама.

Физико-механические характеристики полимерного композиционного материала оценивали по ГОСТ 14236 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение». Испытания проводили на разрывной машине «Instron» (США) в соответствии с ГОСТ 14235, при скорости нагружения 50 мм/с. Рассчитывали среднее арифметическое значение определяемого параметра по результатам пяти повторных измерений.

Ускоренные коррозионные испытания пленочных композиционных материалов на основе ПЭНД и нефти (легкой, тяжелой) проводили в центральной заводской лаборатории Государственного предприятия «ГЗЛиН» в соответствии с требованиями ГОСТ 9.905 «Методы коррозионных испытаний». Определение показателей коррозии (изменение массы и площади поражения) проводили в соответствии с ГОСТ 9.908 «Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости». Использовали металлические образцы размером  $50 \times 50 \times 0,5$  мм из стали 3 (листовой прокат, одна поверхность полированная). Консервацию металлических пластин осуществляли путем изоляции каждого образца в отдельной упаковке из композиционного пленочного материала размером  $60 \times 60$  мм с последующим термосклеиванием краев. В центре упаковки был сделан искусственный прокол, имитирующий возможный дефект тары в случае повреждения при транспортировке или хранения металлоизделий.

Коррозионные испытания блочных образцов на основе ПЭНД и тяжелой нефти/шлама проводили в камере циклической коррозии «Q-FOGCT 600» («Q-Lab», США) по ГОСТ 9.707 «Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы поли-

мерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение». Для исследования антикоррозионной эффективности блочных образцов по отношению к металлоизделиям применяли следующую методику: металлические пластины помещали в емкости, заполненные цилиндрами, изготовленными методом литья на основе ПЭНД, модифицированной тяжелой нефтью или шламом, с последующей оценкой площади коррозионных поражений гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 9.908.

## Результаты и их обсуждение

Результаты исследования деформационно-прочностных характеристик разработанных композиционных пленочных материалов на основе смеси ПЭНД–легкая нефть (ЛН) и ПЭНД–тяжелая нефть (ТН) представлены на рис. 1.

На рис. 1 видно, что с увеличением содержания нефти в композите предел прочности пленок на растяжение снижается. Для ЛН он проходит через максимум, соответствующий  $C = 5$  мас.%, показывающий увеличение разрушающего напряжения при растяжении на 6–10%, по сравнению с образцом на основе чистого ПЭНД, и свидетельствующий о пластифицирующем действием вводимой ЛН. Данный эффект обусловлен тем, что вводимая легкая нефть в данной композиции выступает как межструктурный пластификатор, молекулы которого адсорбируются на поверхности молекул полимера, образуя тончайшие мономолекулярные слои так называемой граничной смазки, облегчающей подвижность надмолекулярных структур [4, 5]. В данном случае добавки ЛН до 5 мас.% позволяют повысить деформационно-прочностные характеристики исследуемых композиционных материалов. Достигаемое при этом снижение внутренних напряжений позволяет без разрушения деформировать материал до больших значений относительного удлинения (рис. 2). Дальнейшее увеличение содержания в композиционном материале ЛН до 15 мас.% приводит к незначительному снижению прочности образцов до пределов, соответствующих требованиям, предъявляемым к базовой полимерной матрице. Последующее повышение концентрации ЛН  $C > 15$  мас.% приводит к снижению межмолекулярного взаимодействия между участками молекул полимера, что выражается в увеличении деформируемости и уменьшении прочности материалов [6]. При содержании нефти в полимерной матрице в количествах, превышающих предел ее совместимости с полимером (~15 мас.%),

Таблица 1 — Общая физико-химическая характеристика легкой и тяжелой нефтей Осташковичского месторождения  
Table 1 — General characteristics of light and heavy oils of the Ostashkovichi deposit

	Абсолютная глубина свода, м	Открытая пористость, %	Поверхностная плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость		Газонасыщенность, м <sup>3</sup> /т	Содержание примесей, %	
				пластовая, мПа·с	поверхностная, мм <sup>2</sup> /с		S (сера)	Смоли+асфальтены, %
Легкая нефть (ЛН)	–3030	8,6	0,8289	0,87	17,17	223,2	0,98	6,1
Тяжелая нефть (ТН)	–2459	8/6,2	0,8957	3,1	90,36	83,9	0,8	11,88

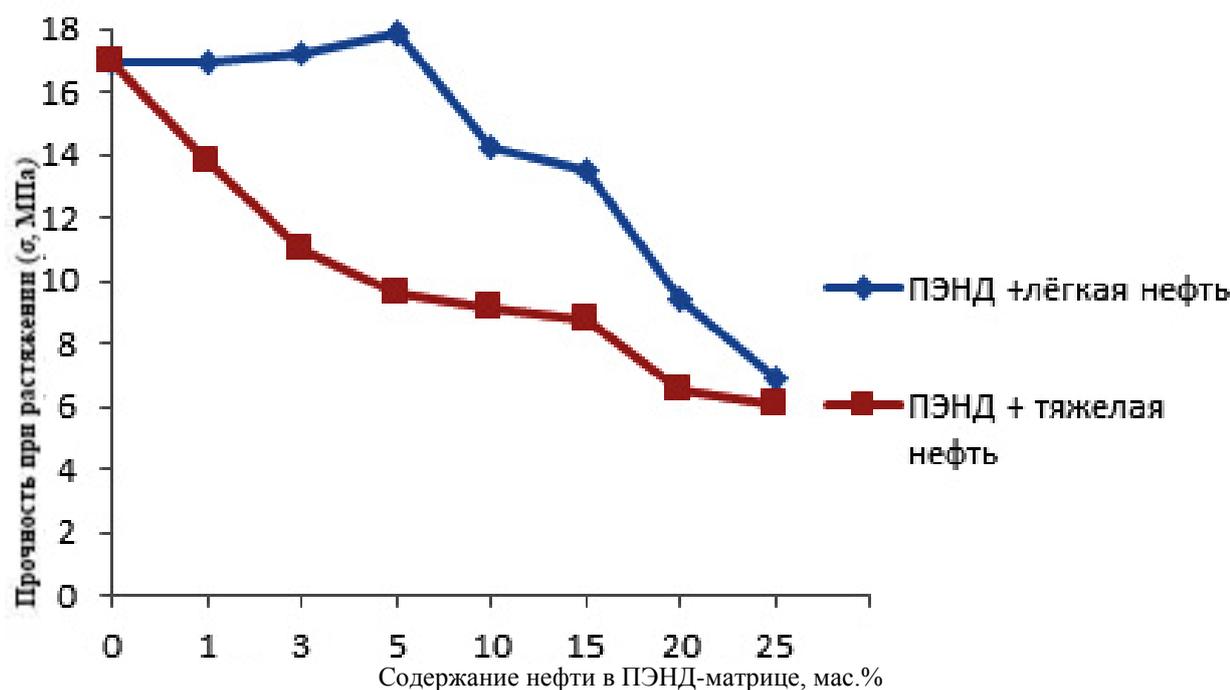


Рисунок 1 — Зависимости разрушающего напряжения при растяжении ( $\sigma$ ) пленочных композиционных образцов на основе ПЭНД от концентрации и содержания нефти в ПЭНД-матрице

Fig. 1 — Depending tension stress ( $\sigma$ ) of film composite samples based on concentration and quantity of oil in matrix of HDPE

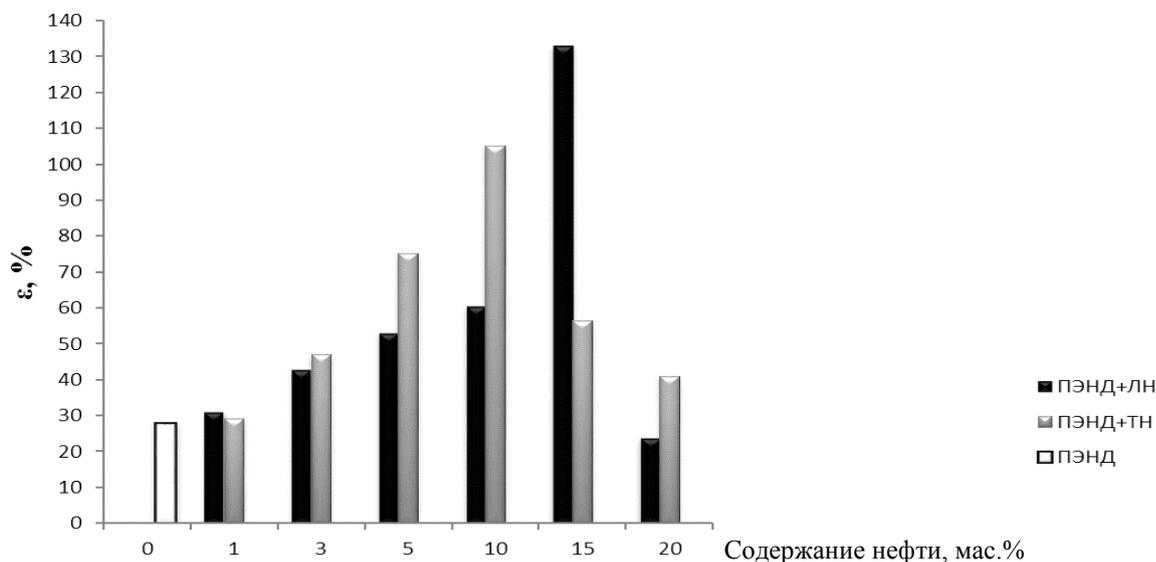


Рисунок 2 — Диаграмма зависимости удлинения при растяжении (%) образцов состава ПЭНД–нефть от концентрации нефти (ЛН, ТН)

Fig. 2 — Diagram of elongation in tension (%) of samples HDPE–oil on concentration of oil (light, heavy oil)

нарушается механизм межструктурной пластификации, при котором пластификатор заполняет микропустоты и распределяется на поверхности надмолекулярных образований [7]. Такой избыток ЛН (сверх предела совместимости) приводит к выпотеванию её из полимерной матрицы в качестве обособленной фазы, увеличению пористости материала и постепенному снижению прочности композиционного материала [8]. Анализ концентрационных зависимостей разрушающего напряжения при растяжении

пленочных композиционных образцов на основе ПЭНД–ТН показал, что с увеличением концентрации ТН разрушающее напряжение  $\sigma$  линейно снижается. Пленочные образцы даже с малым содержанием ТН (1–10 мас.%) отличаются высокой неоднородностью структуры, хрупкостью и имеют прочностные показатели ниже, чем у базового ПЭНД ( $\sigma = 16,8$  МПа).

Результаты исследований относительного удлинения при растяжении образцов ПЭНД–ЛН, ПЭНД–ТН

представлены на рис. 2. Экстремальная зависимость эластичности композиционных пленок характеризуется максимумом при концентрации ЛН — 15 мас.% и ТН — 10 мас.%, что связано с гомогенизацией смеси полимер-нефть, обусловленной равномерным распределением молекул нефти между макромолекулами ПЭНД, а также снижением межмолекулярного взаимодействия цепей полимера. Как следствие, увеличивается относительная деформация [9]. При дальнейшем увеличении содержания в полимерной матрице нефти деформационно-прочностные характеристики пленок снижаются, указывая на разрушение полимерного каркаса [6].

Для композиционных образцов на основе ПЭНД, содержащих ТН, характерны более высокие значения относительной деформации при испытаниях на разрыв, что, вероятно, обусловлено химическим составом ТН, характеризующимся содержанием углеводородов большей молекулярной массы, чем углеводороды ЛН, и высокой вязкостью. Вследствие этого структурные составляющие полимера, модифицированного ТН, в процессе пластификации в большей степени разобщаются проникающими молекулами углеводородов и легче перемещаются в процессах ориентации под действием внешнего нагружения. С другой стороны, крупным молекулам таких углеводородов труднее участвовать в процессах диффузии, предшествующих формированию пористой системы полимер-низкомолекулярная жидкость [6].

В табл. 2 представлены сравнительные характеристики разработанных материалов на основе состава ПЭНД-нефть с аналогичными материалами, разработанными в Республике Беларусь. Анализ технико-эксплуатационных показателей материалов свидетельствует о том, что разработанные композиционные материалы на основе ПЭНД-нефть находятся на уровне и/или превосходят известные анало-

ги. Анализ данных из табл. 2 свидетельствует о том, что разработанные пленки имеют удовлетворительные физико-механические характеристики [10], у них практически отсутствуют влагопроницаемость и водопоглощение, исследованные в предыдущих работах авторов [11, 12].

Принцип работы разработанных композиционных пленок заключается в постоянном синерезисе (выделении) части молекул природных углеводородов, обладающих ингибирующими свойствами [13]. Ингибирующие молекулы, выходя на поверхность металлоизделий, насыщают всё замкнутое пространство внутри закрытой упаковки, конденсируясь на поверхности металла и формируя на ней эффективную защитную пленку. Ингибирующие молекулы легко достигают поверхности металлоизделия, в том числе и в труднодоступных местах, обеспечивая коррозионную защиту различных металлов в любых условиях при обеспечении герметизации металлоизделий. Поэтому при использовании разработанных материалов в виде блочных образцов, применяемых в качестве наполнителей тары, наиболее эффективно использование дополнительной упаковки для обеспечения дополнительной герметизации металлоизделий.

В результате ускоренных коррозионных испытаний, которые позволили оценить защитную способность разработанных материалов по отношению к образцам, помещенным в упаковочные пакеты, сформированные из разработанных пленок различного состава, установлено, что металлические образцы (сталь 3), защищенные пленками ПЭНД с содержанием ТН и ЛН с концентрациями 15 мас.%, имеют темный цвет. Вероятно, это объясняется формированием адсорбированной нефтесодержащей защитной пленки. Следов коррозии не наблюдали.

Таблица 2 — Сравнительный анализ технико-эксплуатационных показателей образцов ПЭНД пленок, модифицированных тяжелой (ТН) и легкой (ЛН) нефтью

Table 2 — Comparative analysis of the technical and operating characteristics of samples of HDPE films modified heavy and light oil

Исследуемый параметр	Метод исследования	Результаты измерений			
		ПЭНД	ПЭНД (85%) – нефть (15%)	Патент ВУ 10153: ПЭНД (47–50%)– мин. масло МС-20 (40–50%)–карбамид (3–10%)	Патент ВУ 21853: ПЭНД (82–86%)–буксол (4–8%)–масла (0,5–1,0%)–оксид титана (остальное)
1	2	3	4	5	6
Адгезия, кг/см	ГОСТ 15140, разрывная машина «ЗМ-40»	0,198	0,18–0,25 (с ТН)	0,02–0,3	0,018–0,2
			0,19–0,27 (с ЛН)		
Водопоглощение, %	ГОСТ 4650	0,03–0,04	0 (с ТН)	0	0
			0 (с ЛН)		
Предел прочности на растяжение, МПа	ГОСТ 14236, разрывная машина «РМУ-0,05»	18,63–19,61	17,04–18,87 (с ТН)	8,83–12,75	17,46–19,61
			14,95–15,71 (с ЛН)		
Скорость коррозии стальной пластины, г/м <sup>2</sup> ч	ГОСТ 9.908	(0,855–1,23) 10 <sup>-3</sup>	(0,09–0,3) 10 <sup>-3</sup> (с ТН)	(0,1–0,3) 10 <sup>-3</sup>	(0,093–0,099) 10 <sup>-3</sup>

Для моделирования процессов, происходящих при хранении изделий в поврежденной таре, в защитных пленках был сделан искусственный дефект-прокол. На рис. 3 представлены фото металлических образцов (сталь 3), защищенных пленками ПЭНД с проколом. После экспозиции металлоизделий в пленке ПЭНД, содержащей ингибирующие добавки, была обнаружена четко локализованная незначительная точечная коррозия в месте прокола, возникшая за счет проникновения влажного воздуха извне и депассивации поверхности металла. На всей остальной поверхности исследуемого металла коррозионных повреждений не обнаружено. Анализ металлоизделий, упакованных в пленку из чистого ПЭНД (рис. 3, в) свидетельствует о быстро развивающейся интенсивной язвенной коррозии, которая проявляется в виде мелких язв, распространенных по всей поверхности металла, особенно в области искусственного дефекта. Адсорбционная пленка на поверхности металлоизделий, упакованных в пленку из чистого ПЭНД, не формируется, хорошо видны продукты коррозии, при удалении которых об-

наружили коррозионные язвы.

На ЗАО «Гомельский вагоноремонтный завод» провели опытно-промышленные испытания ингибирующей эффективности разработанных пленочных полимерных материалов на основе ПЭНД-ЛН и ПЭНД-ТН (концентрация природных углеводородов 15 мас.%) по отношению к металлическим инструментам, изготовленным из стали Ст45, 65Г, У8А, Т15К. Металлические образцы, упакованные в пакеты из пленок, выдерживали в помещении, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от таковых на открытом воздухе (ГОСТ 15150). Полученные результаты свидетельствуют о высокой антикоррозионной эффективности испытуемых материалов (рис. 4). На образцах экспонированных в пленке, ингибированной нефтью (рис. 4, б), наблюдали незначительные следы коррозии. В то же время, образец, который хранился на открытом воздухе катастрофически корродировал, потеряв товарный вид.



а



б



в

Рисунок 3 — Фото металлических пластин после экспозиции в пленках различного состава: а – ПЭНД + ТН; б – ПЭНД + ЛН; в – ПЭНД

Fig. 3 — Pictures of metal plates after exposure in films of various compositions: а – HDPE + heavy oil; б – HDPE + light oil; в – HDPE



Рисунок 4 — Фото металлоизделий (зубило), экспонированных в пленки на основе ПЭНД, модифицированного нефтью: *a* – зубило до консервации; *b* – зубило после экспозиции (6 месяцев) в разработанной пленке состава ПЭНД–ЛН; *в* – зубило после экспозиции (6 месяцев) без упаковки на открытом воздухе

Fig.4 — Pictures of metal products, exhibited in films based on HDPE, modified oil: *a* – chisel before conservation; *b* – chisel after conservation in film of HDPE–light oil (6 months); *в* – chisel without packing outdoors after exposure (for 6 months)

Целесообразность использования природных углеводородов в качестве ингибиторов коррозии также определяли, оценивая антикоррозионную активность блочных образцов на основе ПЭНД. Блочные образцы широко применяют при транспортировке, хранении, изолировании металлоизделий в таре в качестве компенсирующих прокладок, изолирующих перегородок и т. п.

Оценку антикоррозионной эффективности блочных образцов ПЭНД–шлам (15 мас.%) проводили по площади коррозионных поражений металлических образцов, экспонированных в камере циклической коррозии (рис. 5). На поверхности металлических образцов (сталь 3), экспонированных в таре, наполненной блочными образцами на основе смеси ПЭНД–шлам визуально выявили образование адсорбированной защитной пленки, в отличие от образцов (сталь 3), контактирующих с блочными образцами из чистого ПЭНД. При этом площадь коррозии металлических образцов без упаковки (рис. 5, *a*) в 6,5 раз больше, чем площадь коррозии образцов, погруженных в тару, наполненную блочными образцами (рис. 5, *б*). Вероятно, работоспособность разработанных ингибированных защитных материалов обусловлена формированием на поверхности металлических

образцов адсорбированной защитной пленки.

Антикоррозионные композиционные полимерные материалы, модифицированные природными углеводородами, отвечают требованиям эффективности и промышленной применимости. В табл. 3 приведены основные технологические и физико-механические свойства разработанных ингибированных пленок ПЭНД.

Таким образом, разработанные композиционные материалы на основе ПЭНД, модифицированные легкой, тяжелой нефтью или отходами переработки нефти (шлама) рекомендованы для защиты металлоизделий от атмосферной коррозии. Целесообразность применения предлагаемой упаковки заключается в том, что отпадает необходимость в применении специальных химикатов и защитных процедур, как при упаковке деталей, так и при их расконсервации. Пленка создает непрерывную защиту, как в кислотных, так и в нейтральных средах [12], подавляет щелевую коррозию различных металлов, позволяет хранить изделия при любой влажности, не требует периодического обновления ингибитора, обеспечивает защиту металлоизделий различных конфигураций, предотвращает возникновение ржавчины на металлоизделиях при транспортировке их наземным, воздушным и морским



Рисунок 5 — Результаты климатических испытаний металлических образцов: *a* – экспонированных в таре, наполненной блочными образцами состава ПЭНД–шлам; *б* – экспонированных в таре без наполнения

Fig. 5 — The results of environmental tests of metal samples: *a* – exposed in a container filled with block structure sample HDPE–sludge; *b* – exposed without filler in the container

Таблица 3 — Технологические и физико-механические свойства разработанных ингибированных пленок ПЭНД  
Table 3 — Technological and physical and mechanical properties of inhibited polymer films low pressure of HDPE

Показатель	Свойства материала
Цвет, внешний вид	Коричневая непрозрачная пленка без видимых дефектов
Толщина, мкм	100–200
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	14,95–18,87
Влагопоглощение, %	0
Температура плавления, °С	125–137
Стойкость в агрессивных средах при 20 °С:	
<i>HCl</i> , 10%	С*
<i>NaOH</i> , 10%	ОС
<i>NaCl</i> , 10%	ОС

\*С – стойкий; ОС – ограниченно стойкий.

транспортом. Пленка может использоваться для замены антикоррозионных масел и бумаги при консервации металлоизделий. При этом процедура консервации и расконсервации значительно упрощается (не требуется нанесения и удаления консервационных смазок и покрытий). В случае необходимости более выраженного и пролонгированного ингибирующего эффекта в составе разработанных материалов могут быть введены специальные ингибиторы коррозии в малых концентрациях.

## Выводы

Разработанные композиционные материалы на основе ПЭНД, модифицированного легкой, тяжелой нефтью или отходами нефтедобычи (шлам) имеют удовлетворительные физико-механические характеристики в сочетании с выраженными антикоррозионными свойствами, поэтому могут быть эффективно использованы для антикоррозионной защиты металлических изделий различного состава. Даже при наличии дефектов в упаковке на поверхности

металлического изделия образуется защитный ингибирующий слой. К преимуществам использования разработанных материалов можно отнести механическую прочность, способность сохранения своей структуры при перепадах температур, низкий уровень образования конденсата, универсальность и экономичность.

## Обозначения

ПЭНД — полиэтилен низкого давления; *p*, МПа — давление; ЛН — легкая нефть; ТН — тяжелая нефть, *C*, мас.% — концентрация.

## Литература

1. Акулич Н. В. Материаловедение и технология конструктивных материалов. Мн.: Новое знание, 2008. 271 с.
2. Широкий Г. Т., Юхневский П. И., Бортницкая М. Г. Материаловедение в санитарно-технических системах. Мн.: Вышэйшая школа, 2009. 300 с.
3. Неверов А. С., Родченко Д. А., Цырлин М. И. Коррозия и защита материалов: учеб. пособие для студентов технических специальностей вузов. Мн.: Вышэйшая школа, 2007. 222 с.

4. Аскадский А. А., Хохлов А. Р. Введение в физикохимию полимеров. М.: Научный мир, 2009. 380 с.
5. Зименкова Л. П. Физико-химия полимеров: электронное учебное пособие [Электронный ресурс]. URL: <http://hi-edu.ru/e-books/xbook839/01/part-008.htm#i838> (дата обращения 01.12.2018).
6. Барштейн Р. С. Пластификаторы для полимеров. М.: Химия, 1982. 200 с.
7. Тагер А. А. Успехи химии и технологии полимеров. М.: Химия, 1970. 203 с.
8. Гейманс Р. Дж. Упрочнение кристаллических термопластов // Полимерные смеси. Т. 2. Функциональные свойства / под ред. Д. Р. Пола и К. Б. Бакнелла; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. С. 194–242.
9. Ревяко М. М., Прокопчук Н. Р. Технологические основы переработки полимеров. Мн.: БГТУ, 2009. 303 с.
10. Описание и марки полимеров – Полиэтилен // Полимерные материалы. Изделия. Оборудование. Технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polymerbranch.com/catalogp/view/4.html> (дата обращения 01.12.2018).
11. Громыко Ж. Н., Неверов А. С., Ермолович О. А. Гидроизоляционные свойства полиэтиленовых пленок, модифицированных нефтью // Полимерные материалы и технологии. 2018. № 1. С. 62–66.
12. Громыко Ж. Н., Неверов А. С., Приходько И. В. Исследование совместимости нефти и нефтепродуктов с полиолефинами // Горная механика и машиностроение. 2010. Вып. 4. С. 78–82.
- ence in Sanitary Technical Systems]. Minsk: Vysheyschaya shkola Publ., 2009. 300 p.
3. Neverov A. S., Rodchenko D. A., Tsyrlin M. I. *Korroziya i zashchita materialov* [Corrosion and protection of materials]. Minsk: Vysheyschaya shkola Publ., 2007. 222 p.
4. Askadskij A. A., Hohlov A. R. *Vvedenie v fizikohimiyu polimerov* [Introduction to the physics and chemistry of polymers]. Moscow: Nauchnyj mir Publ., 2009. 380 p.
5. Zimenkova L. P. *Fiziko-khimiya polimerov* (Physics and chemistry of polymers) Available at: <http://hi-edu.ru/e-books/xbook839/01/part-008.htm#i838> (accessed 01.12.2018).
6. Barshteyn R. S. *Plastifikatory dlya polimerov* [Plasticizers for polymers]. Moscow: Khimiya Publ., 1982. 200 p.
7. Tager A. A. *Uspekhi khimii i tekhnologii polimerov* [Advances of Chemistry and Technology of Polymers]. Moscow: Khimiya Publ., 1970. 203 p.
8. Gaimans. R. J. Uprochneniye kristallicheskih termoplastov [Strengthening of crystalline thermoplastics]. *Polimernyye smesi. T. 2. Funktsional'nyye svoystva* [Polymer Mixtures. Vol. 2. Functional properties]. Saint-Petersburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii Publ., 2009, pp. 194–242.
9. Revyako M. M., Prokopchuk N. R. *Tekhnologicheskiye osnovy pererabotki polimerov* [Technological bases of polymers processing]. Minsk: BGTU Publ., 2009. 303 p.
10. Opisaniye i marki polimerov – Polietilen (Description and brand of polymers – Polyethylene). Available at: [www/polymerbranch.com](http://www/polymerbranch.com) (accessed 01.12.2018).
11. Gromyko Zh. N., Neverov A. S., Ermolovich O. A. *Gidroizolyacionnyye svoystva poliehtilenovykh plenok modifitsirovannykh nef'tyu* [Waterproofing properties of plastic films modified oil]. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2018, no. 1, pp. 62–66.
12. Gromyko Zh. N., Neverov A. S., Prihod'ko I. V. *Issledovanie sovmestimosti nef'ti i nef'teproduktov s poliolefinami* [Compatibility study of oil and petroleum products with polyolefins]. *Gornaya mekhanika i mashinostroeniye* [Mining mechanics and engineering], 2010, vol. 4, pp. 78–82.

## References

1. Akulich N. V. *Materialovedeniye i tekhnologiya konstruktivnykh materialov* [Materials Science and Technology of Structural Materials]. Minsk: Novoye znaniye Publ., 2008. 271 p.
2. Shirokiy G. T., Yukhnovsky P. I., Bortnitskaya M. G. *Materialovedeniye v sanitarno-tekhnicheskikh sistemakh* [Material Sci-

Поступила в редакцию 17.12.2018

© Ж. Н. Громыко, А. С. Неверов, О. А. Ермолович, 2019