

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277

EDN: IJNEAY

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Оценка эмиссии нефтепродуктов при утилизации загрязненной тары из полиэтилена

В.К. Салахова^{1,2}, Л.В. Рудакова², К.Г. Пугин^{1,2}

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Российская Федерация

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

veronika815@inbox.ru

Аннотация. При техническом обслуживании частных транспортных средств формируется поток отходов потребления в виде тары с остатками моторного масла. При выборе методов обращения с такими отходами необходимо иметь количественные показатели массы тары и объема моторного масла, остающегося после ее использования. Тара, загрязненная моторными маслами, при утилизации, обезвреживании и захоронении за счет эмиссии остатков нефтепродуктов создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды. Цель исследования – установить объем моторного масла, остающийся после опорожнения тары, при различных условиях. В качестве изменяющихся условий были приняты во внимание вязкость, температура, угол стекания моторного масла. Лабораторные исследования позволили установить, что при утилизации тары из полиэтилена низкого давления (ПНД) (от 1 до 30 л), в которой размещалось моторное масло, в отходах может содержаться от 1,5 до 15 % нефтепродуктов. Чем меньше объем тары, тем выше процент остатков нефтепродуктов по отношению к массе тары. Предложено для оценки эмиссии нефтепродуктов из тары, при ее утилизации, использовать показатели K_1 , позволяющие оценить количественно объем моторного масла, которое может поступить в окружающую среду при утилизации или захоронении.

Ключевые слова: экология, нефтепродукты, моторное масло, утилизация, полиэтилен низкого давления, эмиссия

Благодарности и финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FSNM-2020-0024 «Разработка научных основ экологически чистых и природоподобных технологий и рационального природопользования в области добычи и переработки углеводородного сырья».

© Салахова В.К., Рудакова Л.В., Пугин К.Г., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: *В.К. Салахова* – выполняла лабораторные эксперименты, провела обработку полученных результатов, выполняла написание основной части статьи; *Л.В. Рудакова* – руководила проведением лабораторных экспериментов и обработкой полученных результатов, выполняла написание заключительной части статьи и ее общую научную редакцию; *К.Г. Пугин* – обобщил результаты исследований.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2022; доработана после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 25.02.2023.

Для цитирования: *Салахова В.К., Рудакова Л.В., Пугин К.Г.* Оценка эмиссии нефтепродуктов при утилизации загрязненной тары из полиэтилена // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 270–277. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277>

Evaluation of the emission of petroleum products during the disposal of contaminated polyethylene cans

Veronika K. Salakhova^{1,2}  , Larisa V. Rudakova², Konstantin G. Pugin^{1,2} 

¹Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
veronika815@inbox.ru

Abstract. During the maintenance of private vehicles, a stream of consumer waste is generated in the form of containers with engine oil residues. When choosing methods for handling such waste, it is necessary to have quantitative indicators of the tare weight and the volume of engine oil remaining after use. Containers contaminated with motor oils during disposal, neutralization and disposal due to the emission of oil residues create increased risks of man-made impact on environmental objects. The purpose of the study is to determine the volume of motor oil remaining after emptying under various conditions. Viscosity, temperature, runoff angle of engine oil was taken into account as changing conditions. Laboratory studies made it possible to establish that when disposing containers made of HDPE (from 1 to 30 liters), in which engine oil was placed, the waste may contain from 1.5 to 15% of oil products. The smaller the tare volume, the higher the percentage of oil product residues in relation to the tare weight. It is proposed to use K_1 indicators to assess the emission of oil products from containers during its disposal, which allows quantifying the volume of engine oil that can enter the environment during disposal or disposal.

Keywords: ecology, oil products, motor oil, recycling, low pressure polyethylene, emissions

Acknowledgements and Funding. This work is funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project № FSNM-2020-0024 “Development of scientific basis for environmentally friendly and nature-inspired technologies and environmental management in petroleum industry”).

Authors' contributions: *V.K. Salakhova* performed laboratory experiments, processed the results obtained, wrote the main part of the article; *L.V. Rudakova* supervised the laboratory experiments and the processing of the results obtained, wrote the final part of the article and its general scientific edition; *K.G. Pugin* summarized the results of the research.

Article history: received 15.09.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.02.2023.

For citation: Salakhova VK, Rudakova LV, Pugin KG. Evaluation of the emission of petroleum products during the disposal of contaminated polyethylene cans. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):270–277. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277>

Введение

Для транспортировки и временного хранения нефтепродуктов, используемых для частного потребления, применяется тара из полимерных материалов. Из большого разнообразия нефтепродуктов, применяемых для технического обслуживания транспортных средств, можно выделить моторные масла. По данным исследовательской компании Russian Automotive Market Research, потребление моторного масла в России в 2023 г. составит 976 млн л, что потребует более 260 млн штук пластиковой тары. Для производства тары используется полиэтилен низкого давления (ПНД). Широко используемый объем тары составляет от 1 до 30 л. Тара, загрязненная моторными маслами, при утилизации, обезвреживании и захоронении, за счет эмиссии остатков нефтепродуктов, создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды (ОС) [1–5]. Моторные масла в своем составе содержат большое количество химических веществ, оказывающих значительное влияние на среду обитания человека и других организмов. В состав моторных масел входят жидкие смеси изопарафиновых, нафтеновых, ароматических и нафтеноароматических углеводородов; окиси и сульфаты Ва, Са, Mg; соединения тяжелых металлов; полиолефины, диэфиры; сульфонаты; салицилаты и др.

Использование материального ресурса отходов ПНД для получения вторичных гранул и других продуктов требует тщательной очистки отходов от различных загрязнений. Наличие нефтепродуктов в отходах в разы повышает расход моющих средств и формирует вторичный поток отходов в виде шламов [6–11]. Разработанные технологии использования материального ресурса отходов потребления из ПНД, без предварительной очистки от загрязнений, для получения высоких физико-механических характеристик, требуют количественной оценки содержания моторного масла в составе отходов ПНД [12].

Для оценки возможной эмиссии нефтепродуктов из тары в ОС, расчета количества моющих средств, расходуемых при подготовке тары к утилизации, и установления технологических параметров различных методов утилизации, чувствительных к содержанию моторного масла, необходимо оценить объем моторного масла, который остается в таре после ее использования.

Цель исследования – установить объем моторного масла, остающегося в таре при различных условиях опорожнения.

Материалы и методы

Для оценки объема моторного масла, которое может оставаться в таре после ее опорожнения, в качестве объектов для исследования использовали тару из ПНД емкостью 1, 4, 10, 20, 30 л (ООО «TARAPLASTIC» г. Москва). В качестве нефтепродуктов использовали масла 80w-90, 15w-40 и 10w-40 (ООО «ЛЛК-Интернешнл»), наиболее широко используемые в техническом сервисе транспортных и технологических машин. Для определения толщины слоя масла использовали лист из ПНД. Эксперимент проводили при температуре 20 и 40 °С, угол стекания масла устанавливали 60° и 90° к горизонту, тем самым имитируя налив из тары. Толщину слоя масла (h), который формируется при стекании по наклонной поверхности, определяли расчетным методом исходя из соотношения $h = V/S$, где V – объем масла (использовали объем, равный 0,5 мл), S – площадь, которую занял данный объем при стекании по наклонной поверхности. Кинематическую вязкость масел при температурах +20 и +40 °С определяли с помощью вискозиметра.

Результаты и обсуждение

Физические свойства моторного масла и температура ОС определяют объем, который останется в таре после ее опорожнения. Моторное масло при контакте с материалом тары образует пленку, которая обусловлена маслянистостью (липкостью) моторного масла, т.е. способностью хорошо смачивать поверхности и образовывать на них прочные адсорбированные пленки. Вязкость моторного масла, способность к адсорбции определяют толщину пленки, которая формируется на поверхности тары при ее опорожнении. Объем моторного масла будет определяться внутренней площадью тары. Используя данные производителя тары, была определена площадь поверхности тары (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика тары для моторного масла

Показатель	Тара				
	1	4	10	20	30
Вместимость, литр	1	4	10	20	30
Длина, мм	80	241	233	272	285
Ширина, мм	83	102	185	272	280
Высота, мм	220	306	308	371	527
Площадь внутренней поверхности тары, мм ²	85·10 ³	259·10 ³	343·10 ³	552·10 ³	755·10 ³
Масса пустой тары, г	70	240	460	805	1100

Из расчета (см. табл. 1) можно сделать вывод, что при использовании тары меньшего объема образуется большее количество отходов по весу, что влечет за собой формирование более высокой техногенной нагрузки на ОС. Чем меньше данный показатель, тем меньше энергетических и материальных затрат на утилизацию и захоронение отходов.

Толщину слоя масла (h), формируемого при стекании по наклонной поверхности, определяли расчетным методом исходя из соотношения $h = V/S$, где

V – объем масла (1 мл), S – площадь, которую занял данный объём при стекании. Кинематическую вязкость масел при температурах +20 и +40 °С определяли с помощью вискозиметра. Углы наклона поверхности стекания моторного масла выбраны в диапазоне 60–90 градусов (типичные для слива из тары). Полученные данные приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Расчетная величина толщины слоя масла при +40 °С, мм

Масло	Кинематическая вязкость при +40 °С, ($C_{ст}$)	Угол наклона 60°	Угол наклона 90°
80w-90	144	0,090	0,072
15w-40	106	0,065	0,034
10w-40	79	0,045	0,022

Таблица 3. Расчетная величина толщины слоя масла при +20 °С, мм

Масло	Кинематическая вязкость при +20 °С, ($C_{ст}$)	Угол наклона 60°	Угол наклона 90°
80w-90	280	0,125	0,093
15w-40	168	0,095	0,055
10w-40	115	0,068	0,038

На формирование толщины слоя моторного масла влияет вязкость масла, которая, в свою очередь, зависит от температуры масла. Слив моторного масла из тары при более высокой температуре уменьшает слой моторного масла, который формируется на внутренней поверхности тары.

Используя полученную площадь внутренней поверхности тары (см. табл. 1) и величину слоя, который формируется при различных условиях (см. табл. 2 и 3), определили расчетное количество моторного масла, остающееся в таре после ее опорожнения. Расчет объема масла, остающегося в таре, при различных температурах, приведен в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Объем моторного масла в таре после опорожнения при угле 60°, мл

Масло		Тара, л				
		1	4	10	20	30
80w-90	при +20 °С	10,6	32,4	42,9	69,0	94,4
	при +40 °С	7,7	23,3	30,8	49,7	67,9
15w-40	при +20 °С	8,1	24,6	32,6	52,4	71,7
	при +40 °С	5,5	16,8	22,3	35,9	49,1
10w-40	при +20 °С	5,8	17,6	23,3	37,5	51,3
	при +40 °С	3,8	11,7	15,4	24,8	34,0

Таблица 5. Объем моторного масла в таре после опорожнения при угле 90°, мл

Масло		Тара, л				
		1	4	10	20	30
80w-90	при +20 °С	7,9	24,0	31,9	51,3	70,2
	при +40 °С	6,1	18,6	24,7	39,7	54,4
15w-40	при +20 °С	4,6	14,2	18,9	30,4	41,5
	при +40 °С	2,8	8,8	11,7	18,8	25,7
10w-40	при +20 °С	3,2	9,8	13,0	20,9	28,7
	при +40 °С	1,9	5,7	7,5	12,1	16,6

С учетом полученных данных можно оценить, какое количество моторного масла попадет в ОС при размещении использованной тары на полигоне. При использовании 1 штуки тары в 30 л, в ОС попадет от 94,4 до 16,6 мл моторного масла. При использовании 30 штук тары в 1 л, в ОС попадет от 318 до 57 мл, что формирует техногенную нагрузку в 3,2–3,4 раза больше.

Также по остаткам моторного масла в таре можно рассчитать, какой объем моторного масла будет поступать на полигон ТКО или на линию утилизации в расчете на одну тонну тары из ПНД. Данные представлены в табл. 6.

Таблица 6. Объем моторного масла в таре после опорожнения

Показатель	Тара				
	1	4	10	20	30
Объем, л	70	240	460	805	1100
Масса пустой тары, г	14285	4166	2174	1242	909
Количество тары в 1000 кг, шт.	151,4	133,3	93,3	85,7	85,8
Объем моторного масла в таре после опорожнения при +20 °С, при угле 60° (на 1000 кг тары), л	27,1	23,7	16,3	15,0	15,1
Объем моторного масла в таре после опорожнения при +40 °С, при угле 90° (на 1000 кг тары), л	15,1–2,7	13,3–2,3	9,3–1,6	8,5–1,5	8,5–1,5
Процентное содержание остатков моторного масла в таре K_1 , %					

Вывод. При утилизации тары из ПНД, в которой размещалось моторное масло или другие нефтепродукты, может содержаться от 1,5 до 15 % нефтепродуктов. Установлено, что чем меньше объем тары, тем выше процент остатков нефтепродуктов по отношению к массе тары. Это обстоятельство увеличивает материальные затраты на подготовку отходов к вторичному использованию и требует организации отдельного сбора тары малого объема (до 4 литров) и тары большего объема (более 4 литров) или разработки технологии утилизации, позволяющей использовать материальный ресурс ПНД и моторного масла в одном технологическом процессе. Для оценки эмиссии нефтепродуктов из тары при ее утилизации или захоронении предлагается использовать показатель K_1 , который определяет величину эмиссии моторного масла, поступающего с отходами тары на полигон ТКО или на линию подготовки к утилизации. Ввиду того что содержание остатков моторного масла в таре зависит, в значительных пределах, от вязкости масла, температуры, угла наклона поверхности стекания, расчет показателя K_1 необходимо производить с учетом вышеперечисленных условий для каждого вида моторного масла. Общие зависимости, полученные для моторного масла, будут характерны и для других нефтепродуктов.

В ходе исследования было дополнительно установлено, что измельченная тара, загрязненная моторным маслом в установленных количествах, может быть успешно использована для производства органоминеральных смесей, используемых для дорожного строительства. Совместное использование ПНД и моторного масла в составе асфальтобетона, по предварительным

данным, позволяет повысить показатели сдвигоустойчивости, трещиностойкости, сохранить прочность асфальтобетона на изгиб при отрицательных температурах. Определение оптимального содержания ПНД и моторного масла в составе асфальтобетона требует проведения дополнительных исследований. Данная технология позволяет использовать отходы тары, загрязненной моторным маслом, без ее предварительной очистки. За счет этого будет достигнуто снижение материальных и энергетических затрат, что в целом позволит создать ресурсосберегающую технологию утилизации тары, загрязненной моторным маслом.

Заключение

1. Величина эмиссии нефтепродуктов из тары, используемой для временного хранения и транспортировки моторного масла, зависит от ее объема, температуры окружающей среды, вязкости масла, угла наклона стекания.

2. При утилизации отработанной тары необходимо учитывать, что в зависимости от объема тары содержание нефтепродуктов может изменяться от 1,5 до 15 % от массы утилизируемой тары.

3. Предложено для оценки экологической эффективности тары, использовать показатель тары K_1 , который позволяет оценить количественно объем моторного масла, который может поступить в ОС при утилизации или захоронении. Количественный индекс экологичности тары необходимо устанавливать индивидуально, с учетом условий опорожнения тары и физических характеристик нефтепродукта.

4. Установленное количество моторного масла для тары различных объемов может служить ориентиром для выбора метода или технологических процессов ее утилизации. При такой достаточно точной оценке материальных потоков, формирующихся при утилизации тары ПНД, загрязненной моторным маслом, возможно разработать технологию утилизации без предварительной очистки тары от загрязнений. Такой технологией может быть совместное использование материального ресурса ПНД и моторного масла при производстве асфальтобетонных смесей.

Список литературы

- [1] *Vazquez-Duhalt R.* Environmental impact of used motor oil // *Science of the Total Environment*. 1989. Vol. 79. Issue 1, P. 1–23. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90049-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90049-1)
- [2] *Stark J.S.* Effects of lubricant oil and diesel on macrofaunal communities in marine sediments: A five year field experiment in Antarctica // *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 311. P. 119885. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119885>
- [3] *Guo G., Li K., Lei M.* Accumulation, environmental risk characteristics and associated driving mechanisms of potential toxicity elements in roadside soils across China // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 835. P. 155342. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155342>
- [4] *Картошкин А.П., Манджиев С.Т.* Экологическая опасность сброса отработанных моторных масел // *Грузовик*. 2008. № 3. С. 42–44.

- [5] *Картошкин А.П.* Экономия энергетических ресурсов путем создания и реализации комплексной технологии регенерации отработанных смазочных масел для автотракторной техники: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2002. 50 с.
- [6] *Aldagari S., Kabir Sk F., Lamanna A., Fini E.H.* Functionalized Waste Plastic Granules to Enhance Sustainability of Bituminous Composites // *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. Vol. 183. P. 106353. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106353>
- [7] *Zhang H., Huang M., Hong J., Lai F., Gao Y.* Molecular dynamics study on improvement effect of bis(2-hydroxyethyl) terephthalate on adhesive properties of asphalt-aggregate interface // *Fuel*. 2021. Vol. 285. P. 119175. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119175>
- [8] *Li G., Gu Z., Tan Y., Xing C., Zhang J., Zhang C.* Research on the phase structure of Styrene-Butadiene-Styrene modified asphalt based on molecular dynamics // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 326. P. 126933. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.2022.126933>
- [9] *Bulai I.S., Adamu H., Umar Y.A., Sabo A.* Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9, Issue 4. P. 105465. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105465>
- [10] *Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M.* The use of polymer materials in the composition of asphalt concrete // *Materials research proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment, ICMTME 2021*. 2022. P. 150–155. <https://doi.org/10.21741/9781644901755-27>
- [11] *Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К.* Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 4. С. 29–36. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.04.04>
- [12] *Пугин К.Г., Пугина В.К.* Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 2. С. 38–46. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.02.05>

Сведения об авторах:

Салахова Вероника Константиновна, аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; лаборант, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23. ORCID: 0000-0003-4234-9430, e-Library SPIN-код: 6603-5476. E-mail: veronika815@inbox.ru

Рудакова Лариса Васильевна, доктор технических наук, заведующая кафедрой охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. e-Library SPIN-код: 1705-6430. E-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

Пугин Константин Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23; профессор кафедры автомобилей и технологических машин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. ORCID: 0000-0002-1768-8177, e-Library SPIN-код: 7972-1668. E-mail: 123zzz@rambler.ru