УДК 67.02; 631.95

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-5-61-68

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЕРЕВОЗКИ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА В АПК И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ¹*Титова Ирина Вячеславовна*¹*Астанин Владимир Константинович*¹*Сидоренков Вячеслав Леонидович*¹*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»*

Реферат. Вторичная переработка отходов полиэтилена, характеризующихся большим сроком разложения, может наносить большой вред растительному и животному миру. Для уменьшения негативного влияния применяемых методов утилизации отходов на окружающую среду необходима модернизация системы сбора и переработки полиэтилена. Проведен анализ статистических данных количества образующихся полимерных отходов по Воронежской области. Предложено уравнение для определения количества отходов полиэтилена, образующегося на территории области за год. Учитываются освободившиеся мешки от минеральных удобрений, пленка от теплиц, отходы полиэтилена от животноводческих и перерабатывающих предприятий. Для Аннинского района количество отходов полиэтилена составляет более 700000 кг/год. Определение координат рационального расположения перерабатывающих предприятий произведено математическим методом. Учтены наличие хороших подъездных путей, энергоснабжения, водоснабжения и прочие параметры. По рассчитанным координатам определено месторасположение пунктов сбора большого количества полиэтилена. Определены основные крупные населенные пункты для расположения перерабатывающих предприятий в Воронежской области. Для Аннинской зоны предложена схема перевозки отходов на перерабатывающие предприятия. Определен рациональный радиус перевозок отходов от мест сбора до перерабатывающих предприятий. Произведено экономическое обоснование целесообразности перевозок с помощью автомобильного транспорта. Определено необходимое количество транспортных средств, а также их грузоподъемность. Приведенные расчеты показали, что для Аннинской зоны для осуществления перевозок полимерных отходов достаточно 1 транспортного средства Газ-3302 грузоподъемностью 1500 кг, осуществляющего перевозку 1 раз в 3 дня.

Ключевые слова: Переработка, полимерные отходы, перерабатывающие предприятия.

ASSESSMENT METHODOLOGY THE TRANSPORT OF WASTE POLYETHYLENE IN AGRICULTURE AND OTHER INDUSTRIES ON THE EXAMPLE OF THE VORONEZH REGION¹*Titova Irina*¹*Astanin Vladimir*¹*Sidorenkov Vyacheslav*¹*FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great"*

Abstract. Recycling of polyethylene waste, characterized by a long decomposition time, can cause great harm to the flora and fauna. Modernization of the system for collecting and processing polyethylene is necessary to reduce the negative impact of the used methods of waste disposal on the environment. Analysis of statistical data on the amount of polymer waste generated in the Voronezh region was carried out. An equation is proposed for determining the amount of polyethylene waste generated in the region per year. Free bags of mineral fertilizers, film from greenhouses, polyethylene waste from livestock and processing enterprises are taken into account. The amount of polyethylene waste is more than 700,000 kg / year for the Anninsky district. The determination of the coordinates of the rational location of processing enterprises is made by the mathematical method. The availability of good access roads, energy supply, water supply and other parameters are taken into account. The location of the collection points for a large amount of polyethylene is determined by the calculated coordinates. The main large

settlements for the location of processing enterprises in the Voronezh region are identified. A scheme for transporting waste to processing plants was proposed for the Anninsky zone. The rational radius of waste transportation from collection points to processing enterprises is defined. An economic justification for the expediency of transportation by road was made. The required number of vehicles, as well as their carrying capacity, has been determined. Given calculations showed that for the Anninsky zone for the transportation of polymer waste, only 1 Gaz-3302 vehicle with a carrying capacity of 1,500 kg is enough, carrying out transportation once every 3 days.

Key words: Recycling, polymeric waste, processing enterprises.

Введение. На сегодняшний день основными методами утилизации полимерных отходов являются захоронение и сжигание. Но использование данных методов опасно из-за большого периода распада полимеров, что приводит к загрязнению окружающей среды миллионами тонн пластиковых отходов [7, 8].

Также сфера утилизации полимерных отходов является большим рынком с перспективами для развития.

Поэтому одним из основных направлений решения данной проблемы является создание сети предприятий по переработке и вторичному использованию полимерных отходов.

Важным моментом является определение местоположения данных предприятий. Площадь территории области – 52,2 тыс. км², (рис. 1) что составляет около трети площади всего Черноземья. Протяжённость области с севера на юг — 277,5 км и с запада на восток – 352 км [2].

Рисунок 1 – Карта Воронежской области с центрами административных районов

Чрезвычайно важно расположить предприятия вблизи автомобильных и железнодорожных транспортных и логистических центров. Также необходимо обеспечить их круглогодичную загрузку [9, 10].

Материалы и методы. Количество отходов полиэтилена, образующегося на рассматриваемой территории за год, рассчитываем по следующей формуле [1]:

$$Q_i = q \cdot N_i + F_i \cdot n \cdot K_n + Q_{жс} + Q_T + Q_{П}, \quad (1)$$

где $q = 13 \text{ кг/чел}$ [7] – норма образования отходов полиэтилена в год на человека;

N_i – количество человек проживающих в i – ом районе, чел;

F_i – площадь посевных площадей i –го района, га;

n – усредненная норма внесения удобрений, кг/га;

K_n – удельная масса полиэтилена на килограмм внесенных удобрений ;

Q_m – количество отходов полиэтилена от теплиц, кг;

$Q_{жс}$ – количество отходов полиэтилена от животноводства, кг;

$Q_{П}$ – количество отходов полиэтилена от перерабатывающих предприятий, кг.

Удельная масса полиэтилена на килограмм внесенных удобрений определяется по следующей формуле:

$$K_n = m / M, \quad (2)$$

где m – масса полиэтиленового мешка, в котором хранятся и транспортируются удобрения, кг;

M – масса удобрений в мешке, кг;

$$K_n = 0,04 / 50 = 0,0008.$$

Для Аннинского района количество отходов полиэтилена составит:

$$Q_a = 13 \cdot 54100 + 167,8 \cdot 120 \cdot 0,0008 + 620 + 0 + 2 = 721920 \text{ кг/год}.$$

Для равномерного покрытия территории Воронежской области сетью предприятий разбиваем её на шесть зон [3].

Чтобы выбрать рациональное расположение перерабатывающих предприятий, необходимо [4]:

1. На карте рассматриваемой территории отметить районные центры и границы объединений районов;
2. По краям карты нанести оси координат;
3. На ось абсцисс спроектировать районные центры и полученные расстояния X_i на оси умножить на количество отходов полиэтилена образующихся в этом районе Q_i ;
4. Абсциссу точки, к которой тяготеют объекты, находят из выражения.

$$X = \sum Q_i \cdot X_i / \sum Q_i, \quad (3)$$

Аналогично определяем ординату точки:

$$Y = \sum Q_i \cdot Y_i / \sum Q_i, \quad (4)$$

По рассчитанным координатам на карте отмечаем место расположения пункта, к которому тяготеют отходы полиэтилена. Из числа ближайших к найденной точке районных центров выбираем пункт с хорошими подъездными путями, энерго-, водоснабжением и трудовыми ресурсами.

Проведём расчёт оптимального места расположения перерабатывающего предприятия, объединяющего Аннинский, Верхнехавский, Панинский, Таловский и Эртильский районы.

Наиболее удобным пунктом расположения перерабатывающего предприятия является п.г.т. Анна.

Для остальных районов расчёты аналогичны исходные данные и результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчёта рационального места расположения перерабатывающих предприятий

Зона п/п	Наименование административного района	Расстояние по оси X, см	Расстояние по оси Y, см	Количество отходов, т	Количество перерабатываемых отходов, т	Координаты оптимального места расположения		Населённый пункт
						X	Y	
1	Борисоглебский	54,8	38,9	954,8	162,1	52	38	г. Борисоглебск
	Грибановский	53,6	40,7	547	93,0			
	Новохопёрский	48,9	32,5	661	112,3			
	Поворинский	57,5	35,1	250	42,5			
	Терновский	48,0	45,5	380	64,6			
2	Аннинский	32,2	41,0	722	124,7	32,6	41,9	п.г.т. Анна
	Верхнехавский	25,5	48,8	377	65,2			
	Панинский	28,3	44,5	441	76,2			
	Таловский	36,7	32,4	664	114,9			
	Эртильский	37,2	49,0	456	78,9			
3	Богучарский	34,3	6,0	568	96,6	26,2	9,3	г. Россошь
	Верхнемамонский	31,8	11,5	307	222,2			
	Кантемировский	24,2	1,0	583	99,1			
	Ольховатский	16,3	14,2	353	60,0			
	Петропавловский	39,0	10,3	339	57,6			
	Россошанский	20,5	12,1	1178,9	200,4			
4	Семилукский	13,5	45,5	862	181,1	16	44	г. Воронеж
	Рамонский	17,7	50,5	423	88,8			
	Новоусманский	18,5	44,5	820	172,2			
	Хохольский	9,8	42,0	469	98,4			
	Каширский	32,5	40,8	348,8	73,2			
	г. Воронеж	15,6	43,1	12771	3192			
5	Бобровский	26,7	31,0	770	130,9	31,7	22,4	Бутурлиновка
	Бутурлиновский	34,8	26,5	743	126,3			
	Воробьёвский	40,0	22,4	194	33,0			
	Калачеевский	28,0	18,0	796	135,3			
	Павловский	28,0	18,0	796	135,3			
	Подгоренский	21,0	17,4	426	72,4			
6	Каменский	18,5	23,8	380	64,6	15,3	33,2	г. Лиски
	Лискинский	20,0	29,7	1263,2	214,7			
	Нижедевицкий	4,0	42,2	347	59,2			
	Острогожский	13,5	27,0	762,4	129,6			
	г. Нововоронеж	17,0	37,9	523	88,9			
	Репьёвский	7,5	32,0	246	41,8			

Из числа ближайших к найденным точкам отмечен наиболее удобные пункты с хорошими подъездными путями, энергоснабжением, обеспеченными трудовыми резервами.

Результаты и их обсуждение. Дальнейший расчёт ведём на примере Аннинской зоны [1,5,6]. Для экономически выгодного выбранного варианта уточним значения следующих величин:

- определим рациональный радиус перевозок по формуле

$$R_{cp} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot A_1 \cdot D_1 \cdot \eta_n}{a(1 - \eta_z - \eta_m) \cdot N_K}}, \quad (5)$$

где A_1 – коэффициент, характеризующий долю затрат на оплату производственных рабочих, которая изменяется в зависимости от программы предприятия ($A_1=71,7$);

D_1 – затраты на оплату труда производственных рабочих, руб. на одну тонну изделия ($D_1=3600$ руб.);

η_n – коэффициент, учитывающий накладные расходы, ($\eta_n = 2$);

a – коэффициент, учитывающий затраты на перевозку отходов на место переработки и готовых изделий обратно, руб/т·км, ($a=0,18$);

η_3 – коэффициент, учитывающий встречные перевозки изделий и отходов, ($\eta_3 = 0,15$)[1];

η_M – коэффициент, учитывающий перевозку отходов полиэтилена, ($\eta_M = 0,075$)[1];

N_k – плотность объектов переработки, т/км²;

$$N_k = \frac{7N_M}{F}, \quad (6)$$

где N_M – объем отходов полиэтилена, образующийся в обслуживаемой зоне, т;

F – площадь обслуживаемой территории, км².

Площадь Аннинской зоны составляет 8833,4 км². На данном социально-экономическом этапе развития принимаем, что переработке может быть подвергнуто 15 - 20% отходов полимеров. Предприятие будет перерабатывать 125 тонн полимерных отходов в год.

Определим рациональный радиус перевозок с поправкой по формуле:

$$R_{Cp,n} = \frac{R_{cp}}{\eta_T \cdot \eta_\partial}, \quad (7)$$

где η_T – коэффициент, учитывающий конфигурацию территории ($\eta_T = 1,16$ для территории в форме треугольника) [1];

η_∂ – коэффициент, учитывающий сеть дорог.

$$\eta_\partial = \frac{\sum \delta_i}{\sum d_i}, \quad (8)$$

где δ_i – расстояние до объектов переработки по фактическим дорогам, км;

d_i – расстояние от предприятия до объектов переработки по условным прямым, км.

Исходные данные для определения рационального радиуса перевозок с поправками приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные для определения радиуса перевозок и грузооборота для Аннинской зоны

Наименование административного района	Расстояние по фактическим дорогам, δ_i , км	Расстояние по условным прямым, d_i , км
Верхнехавский	83	52
Панинский	53	28
Таловский	55	47
Эртильский	62	49
Аннинский	0	0

Определим ориентировочную себестоимость продукции по формуле

$$C_{p \min} = \left(\left(\frac{A_1}{W_o} + B \right) \cdot D_1 + a(1 - \eta_3 - \eta_M) R_{cp} \right) \cdot Q. \quad (9)$$

Результаты расчёта показателей сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта показателей перевозки

Наименование данных		Значения
Наименование материала		Отходы полиэтилена
Масса перевозимого груза Q_T , тонн		127
Плотность объектов переработки N_K , т/км ²		0,36
Рациональный радиус перевозок, км	оптимальный $R_{c.p}$	260
	оптимальный с поправками $R_{c.p.n}$	156
	фактический R_ϕ	44,9
	установленный $R_{\phi_{уст}}$	26,9
Годовая производственная программа, тонн	оптимальная W_o	24336
	оптимальная с поправкой W_n	8761
	фактическая W_ϕ , тонн	726
	установленная $W_{уст}$	260
Себестоимость продукции, руб.	ориентировочная $C_{p.min}$	468683
	ориентировочная с поправкой $C_{p.n}$	470683
	фактическая $C_{\phi_{pn}}$	613548
	Установленная $C_{уст_{pn}}$	905520

Определим грузооборот для Аннинского объединения.

Известно количество груза, которое необходимо доставить от районных центров до зонального перерабатывающего предприятия. Сбор и транспортировка отходов полиэтилена внутри районов осуществляется независимыми организациями. Объединения закупают отходы у данной организации по цене 25 руб/кг (цена на 01.01.2019), а расплата осуществляется встречными поставками готовой продукции.

Грузооборот определим по следующей формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \delta_i, \quad (10)$$

где Q_i – количество груза, отправляемое из i -го пункта, тонн;

δ_i – расстояние от i -го пункта до места доставки груза, км.

Для п.г.т. Анна принимаем грузопоток равным нулю, потому что расстояние перевозки настолько мало, что им можно пренебречь.

Исходные для расчёта берём из таблиц 2 и 3. Грузооборот P , между п.г.т. Анна и г. Эртиль составит 6315,5 км.

Принимаем, что для транспортировки отходов полиэтилена, нами будет использоваться автомобиль ГАЗ-3302 «ГАЗель», грузоподъёмностью 1,5 тонны.

Годовой объём груза, перевозимого автомобилем, составляет 127 тонн. Оценим количество груза, которое транспортирует «ГАЗель», за один рейс. Плотность отходов полиэтилена $\rho=200\text{кг/м}^3$, размеры грузовой платформы 2100×3000 мм. Высоту бортов определим по следующему выражению

$$h = \frac{M}{\rho \cdot S}, \quad (11)$$

где M – грузоподъёмность автомобиля, кг;

S – площадь грузовой платформы, м²;

ρ – насыпная плотность материала, кг/м³;

$$h = \frac{1500}{200 \cdot 6.3} = 1.2 \text{ м.}$$

Количество рейсов автомобиля марки «ГАЗель» определим по формуле 12:

$$n = \frac{Q_T}{Q_r}, \quad (12)$$

где Q_T – масса перевозимого груза, т

Q_r – грузоподъемность автомобиля «Газель», $Q_r = 1500$ кг

$$n = \frac{127}{1,5} = 84,67 \approx 85 \text{ рейсов}$$

В 2019 году 247 рабочих дней (при пятидневной неделе). Соответственно, при использовании одного транспортного средства Газ-3302 регулярность рейсов определим по формуле 13:

$$N = \frac{n_r}{n} \quad (13)$$

где n_r – количество рабочих дней в 2019 году

$$N = \frac{247}{85} = 2,9 = 3$$

Следовательно, примем регулярность 1 рейс в 3 дня. Цифра является ориентировочной, так как возможна неравномерность образования отходов в течении года.

Для перевозки отходов полиэтилена будем использовать автомобиль с грузовой платформой закрытой тентом. Расстояние от пола до тента составляет 1,7 м, что будет достаточно для перевозки полимеров, затаренных в мешки.

Для Аннинской зоны для осуществления перевозок полимерных отходов потребуется 1 транспортное средство Газ-3302 грузоподъемностью 1500 кг, осуществляющий перевозку 1 раз в 3 дня.

Закключение. Предложена методика оценки образования полиэтиленового сырья по районам Воронежской области, а также схема перевозки отходов на перерабатывающие предприятия.

Предложена методика обоснования необходимого количество транспортных средств и их грузоподъемность для перевозки полимерных отходов на примере Аннинской зоны.

Перспективой дальнейших исследований является оценка объемов образования и эффективности перевозок других видов полимерных отходов технического сервиса и сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Титова И.В., Пухов Е.В., Пивненко А.Е. Метод определения местоположения перерабатывающего предприятия в Воронежской области // В сборнике: Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С.272-277.
2. Образовательно-краеведческий портал «Воронежский гид» - «Воронежская область». Режим доступа: <https://vtnguide.ru/general-information.html>.
3. Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, для Воронежской области // Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. Режим доступа: <https://dprvrn.ru/attachments/article/205/Проект+приказа.pdf>.
4. Об утверждении Региональной схемы (плана) развития и размещения производительных сил Воронежской области // Постановление Правительства Воронежской обл. от 24.07.2015 № 618. Режим доступа: <http://voronezh.regnews.org/doc/nq/8b-7.htm>.
5. В. К. Астанин, И. В. Титова, А. Л. Тоцкий. Оценка объемов утилизации полимерных компонентов технических средств АПК Воронежской области // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2011. — N 1 (28). — С. 42-44. — (Технические науки. Механизация сельского хозяйства). — ISSN 2071-2243. — Библиогр.: с. 44 (3 назв.).
6. В.К. Астанин. Обоснование параметров технологического оборудования для утилизации полимерных отходов технического сервиса / В. К. Астанин [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2012. — N 2 (33). — С. 148-150 : ил. — (Технические науки. Механизация сельского хозяйства). — ISSN 2071-2243. — Библиогр.: с. 150 (3 назв.).
7. Методы утилизации и обезвреживания полимерных материалов // Studbooks.net. Режим доступа: http://studbooks.net/1018269/ekologiya/metody_utilizatsii_obezyvrezhivaniya_polimernyh_materialov.
8. Бобович Б.Б. Утилизация отходов полимеров: Учеб, пособие. [Текст] / М., 1998. 62с.
9. В. Бабунова, Ю. А. Прочухан. Способы утилизации отходов полимеров / Вестник Башкирского университета, 2008 г., М. // Киберленинка.ру. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/sposoby-utilizatsii-othodov-polimerov>
10. Клинков, А. С. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учебное пособие / [Текст] // А.С. Клинков [и др.]. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2010. - 100с.

References

1. Titova I.V., Pukhov E.V., Pivnenko A.E. Method for determining the location of a processing enterprise in the Voronezh region // In the collection: Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. Materials of the international scientific-practical conference. - 2018. - P.272-277.
2. Educational and local lore portal "Voronezh Guide" - "Voronezh Region". Access mode: <https://vrnguide.ru/general-information.html>
3. On approval of the territorial scheme of waste management, including solid municipal waste, for the Voronezh region // Department of Natural Resources and Ecology of the Voronezh region. Access mode: <https://dprvrn.ru/attachments/article/205/Project+order.pdf>
4. On approval of the Regional scheme (plan) for the development and distribution of the productive forces of the Voronezh region // Decree of the Government of the Voronezh region. dated 07.24.2015 No. 618. Access Mode: <http://voronezh.regnews.org/doc/nq/8b-7.htm>
5. V. K. Astanin, I. V. Titova, A. L. Totsky. Estimation of the volume of utilization of polymer components of technical equipment of the agro-industrial complex of the Voronezh region // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2011. — N 1 (28). — P. 42-44. — (Technical sciences. Agricultural mechanization). — ISSN 2071-2243. — Bibliogr. : with. 44 (3 titles.).
6. V.K. Astanin. Justification of the parameters of technological equipment for the disposal of polymer waste technical service / V. K. Astanin [and others] // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2012. — N 2 (33). — P. 148-150: ill. - (Technical sciences. Agricultural mechanization.) - ISSN 2071-2243. - Bibliogr. : p. 150 (3 titles.).
7. Methods of utilization and neutralization of polymeric materials // Studbooks.net. Access mode: http://studbooks.net/1018269/ekologiya/metody_utilizatsii_obezvrezhivaniya_polimernyh_materialov
8. Bobovich B. B. Recycling of polymers: Textbook, manual. [Text] / M., 1998. 62c.
9. V. Bazunova, Yu. A. Prochukhan. Methods of disposal of waste polymers / Bulletin of the Bashkir University, 2008, M. // Cyberleninka.ru. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/v/sposoby-utilizatsii-othodov-polimerov>
10. Klinkov, A. S. Utilization and recycling of packaging and packaging from polymeric materials: a tutorial / [Text] // A.S. Blades [et al.]. Tambov: Publishing House Tamb. state tech. University, 2010. - 100s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Титова Ирина Вячеславовна — кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж. e-mail: titovair@yandex.ru.

Астанин Владимир Константинович — доктор технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж. e-mail: astanin_vk@mail.ru

Сидоренков Вячеслав Леонидович — магистр Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж. e-mail: sidorenkov.slava@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Titova Irina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great", Russia, Voronezh, e-mail: titovair@yandex.ru.

Astanin Vladimir — Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great", Russia, Voronezh, e-mail: astanin_vk@mail.ru

Sidorenkov Vyacheslav — Master of of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great", Russia, Voronezh, e-mail: sidorenkov.slava@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 07.10.2019