

VII. ЭКОНОМИКА И ЭКОЛОГИЯ: ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА. ЭКОНОМИКА АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 332.33

M.A. Liubarskaia, V.S. Merkusheva,
N.M. Luzin

ISSUES OF EFFECTIVE USE OF LAND- FILLS' LAND RESOURCES AT THE FINAL STAGE OF THEIR LIFE CYCLE

The article is focused on the justification of the practicability of involvement of the resources from solid waste landfills in the economic circulation. A large number of landfills located on the territory of Russia have practically exhausted their resources as waste disposal facilities; however, they can be used to obtain secondary energy resources even at the final stage of their life cycle. The optimization model presented by the authors makes it possible to develop an action plan for the phased creation of a biogas collection system based on the zoning of land plots and calculating the return on capital from their use. As an example, the landfill of solid waste "Severnaya Samarka" in the Leningrad region is considered.

Keywords: municipal waste, waste management facility, landfill, land plot, biogas collection system, life cycle stage.

М.А. Любарская¹, В.С. Меркушева²,
Н.М. Лузин³

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО- ЛИГОНОВ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОМ ЭТА- ПЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Статья посвящена обоснованию целесообразности вовлечения ресурсов полигонов ТБО в хозяйственный оборот. Большое количество находящихся на территории России полигонов практически исчерпали свой ресурс в качестве объектов размещения отходов, однако, они могут быть использованы для получения вторичных энергетических ресурсов даже на заключительном этапе своего жизненного цикла. Представленная авторами оптимизационная модель позволяет на основе зонирования земельных участков полигонов и расчёта капиталотдачи от их использования разрабатывать план мероприятий по поэтапному созданию системы сбора биогаза. В качестве примера рассмотрен полигон ТБО "Северная Самарка" в Ленинградской области.

Ключевые слова: коммунальные отходы, объект обращения с отходами, полигон, земельный участок, система сбора биогаза, этап жизненного цикла.

DOI: 10.36807/2411-7269-2021-4-27-154-159

Полигонное захоронение твёрдых коммунальных, производственных и строительных отходов до сих пор остаётся самым распространённым методом обращения с ними в

¹ Любарская М.А., профессор кафедры государственного и территориального управления, доктор экономических наук, профессор; ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный экономический университет", г. Санкт-Петербург

Liubarskaia M.A., Professor of the Department of State and Territorial Administration, Doctor of Economics, Professor; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State University of Economics", Saint-Petersburg

E-mail: liubarskaya@mail.ru

² Меркушева В.С., кандидат экономических наук, доцент; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)", г. Санкт-Петербург

Merkusheva V.S., PhD in Economics, Associate Professor; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petersburg State University of Railway Transport of Emperor Alexander I (PGUPS)", Saint-Petersburg

³ Лузин Н.М., магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)", г. Санкт-Петербург

Luzin N.M., Undergraduate; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petersburg State University of Railway Transport of Emperor Alexander I (PGUPS)", Saint-Petersburg

Российской Федерации. В современных условиях роста городов и увеличения мощностей промышленных предприятий всё активнее обсуждаются вопросы создания новых полигонов и комплексов по переработке отходов [11]. Вместе с тем, большинство находящихся на территории России полигонов приближается к пределам своей производственной мощности по заполнению, переходя к заключительной стадии жизненного цикла [3]. На этой стадии происходит закрытие полигонов и рекультивация земельных участков. Процесс рекультивации осложняется тем, что данные объекты обращения с отходами содержат огромное количество компонентов, которые представляют экологическую опасность как для населения, живущего вблизи этих полигонов, так и для окружающей среды [8]. В частности, факторами химической [2] и пожарной [4] опасности являются образующиеся в теле полигона жидкие и газообразные фракции. Мировой опыт показывает, что участки полигонов могут быть рационально использованы с целью получения энергетических ресурсов [15], [16].

Как отмечают А. Barraqan-Escandon, J. Terrados-Cepeda, E. Zalamea-Leon, P. Arias-Reyes, "формирование условий для устойчивого развития городов невозможно без учёта регенеративной способности материалов и энергии" [14]. Противоречия между экономическим ростом и защитой окружающей среды становятся всё более очевидными из-за быстрой индустриализации и урбанизации. С одной стороны, целью является устойчивое развитие, но с другой стороны, увеличивается потребление энергии. Это противоречие может быть решено путём вовлечения возобновляемых энергетических ресурсов в хозяйственный оборот. Достигнутые к настоящему моменту темпы роста объёма отходов производства и потребления повышают актуальность учёта их потенциала в воспроизводственных процессах.

Жизненный цикл одного из таких потенциальных источников возобновляемых энергетических ресурсов, которым является полигон ТБО, схематично изображен на Рис. 1.

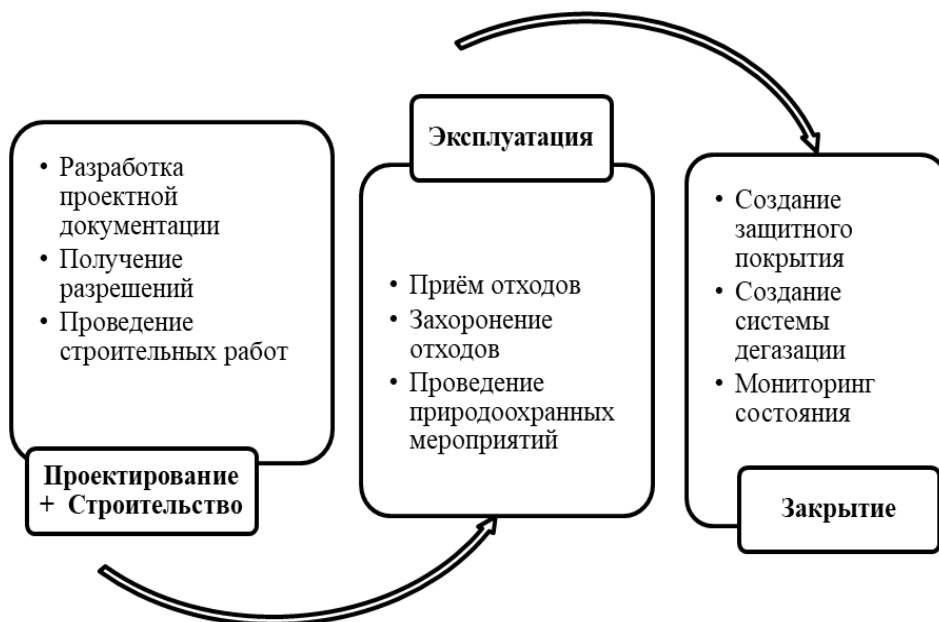


Рис. 1 – Блок-схема жизненного цикла полигона ТБО

Исторически сложившаяся практика проектирования и строительства полигонов ТБО в Российской Федерации и странах ближнего зарубежья не предполагала их оснащения системами сбора биогаза на начальном этапе жизненного цикла [1], [5]. В результате, с ростом популярности идей устойчивого низкоуглеродного развития и перехода на принципы экономики замкнутого цикла, в различных регионах стала возникать необходимость создания таких систем уже на последующих этапах [10].

Любинская Т.В. отмечает, что в России "несмотря на огромные и возобновляемые ресурсы углеводородных отходов, работы по промышленному освоению производства из них биогаза и энергии ведутся крайне неудовлетворительно" [7]. Опыт эксплуатации полигонов ТБО с утилизацией биогаза имеется в городах Серпухов и Мытищи Московской области.

В Ленинградской области с начала 2000-х гг. реализовано несколько проектов по организации сбора биогаза на полигонах. В 2013–2015 гг. группа компаний "Продекс" реа-

лизовала на полигоне "Новый Свет-ЭКО" в Гатчинском районе пилотный инвестиционный проект по созданию генерирующего объекта, работающего на свалочном газе как возобновляемом источнике энергии. Объём выработки электроэнергии составляет 4,8 МВт. Выработанная энергия передаётся в электрические сети ПАО "Ленэнерго" и покупается по утверждённому тарифу [6].

Реализация таких проектов способствует достижению стратегических целей Правительства Ленинградской области по обеспечению экологической безопасности, в том числе, за счёт предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду. В то же время, компании, инвестирующие в создание систем сбора биогаза на полигонах ТБО, при рациональной организации процесса, получают не только экологический и социальный эффект, имеющий важное значение для органов власти и местных сообществ, но и экономический эффект, являющийся существенным для собственников.

В последние несколько лет вопрос рационального использования ресурсов полигона ТБО на заключительных этапах его жизненного цикла актуализировался в отношении расположенного во Всеволожском районе полигона "Северная Самарка". Полигон был построен почти 50 лет назад и изначально предназначался исключительно для строительных отходов. В связи с увеличившимся спросом на объекты размещения отходов в Ленинградской области, в ходе эксплуатации полигон начал принимать отходы всех классов опасности. Расположение полигона на болотистых почвах и разнородность захороненных на нём отходов увеличивает его потенциальную химическую и пожарную опасность. При этом вокруг полигона находится несколько крупных садоводств, а также деревни Колтуши и Мяглово с постоянным населением. За время эксплуатации полигона в его теле скопилось около 30 млн т отходов, что говорит о практически полном исчерпании его производственной мощности.

По данным из Единого государственного реестра прав (ЕГРП), земельный участок, на котором функционирует полигон, разрешено использовать под производственно-хозяйственную зону и объекты по обращению с твёрдыми отходами. Даже после рекультивации использовать данный земельный участок под парки, жилую застройку или объекты социальной сферы, а также для нужд сельского хозяйства невозможно без изменения его назначения. Изменение цели использования допускается исключительно с согласия арендодателя.

Можно рассмотреть несколько вариантов использования земельных ресурсов полигона ТБО на заключительном этапе его жизненного цикла. На взгляд авторов, целесообразным представляется сравнение таких вариантов, как строительство объекта по сортировке и переработке отходов, либо организация на действующем объекте системы сбора и использования биогаза. По экспертным оценкам, приведённым в исследовании Т.В. Любинской, "если собрать и использовать половину образующегося биогаза, то это будет равноценно утилизации 10% отходов, доставленных на полигон" [7]. Далее она отмечает, что на таком же уровне оценивается возможный уровень утилизации отходов на полигоне при помощи дорогостоящих мусоросортировочных комплексов, причём при сортировке и переработке отходов энергия потребляется (25-30 кВт·ч/т ТБО), а при утилизации биогаза – вырабатывается (50-60 кВт·ч/т ТБО) [7].

Данные аргументы позволяют сосредоточить дальнейшие исследования на варианте оснащения действующего полигона системой сбора биогаза, но при этом необходимо применить дифференцированный подход к различным зонам полигона. Экспертный подход Шаимова А.М., Насырова Л.А. и Фасхутдинова Р.Р. [12] позволяет представить полигон в качестве биологического реактора периодического действия, в котором происходит деструкция содержащихся в отходах органических веществ и их трансформация в газообразную (биогаз), жидкую (фильтрат) и твёрдую (разложившуюся массу) фракции.

Результаты проведённого Масликовым В.И., Чусовым А.Н., Молодцовым Д.В. и Рыжаковой М.Г. анализа количественной и качественной информации показали существенную зональность эмиссии биогаза на полигоне ТБО. Авторы отмечают, что "на эксплуатируемых участках процессы биоразложения находятся в активной фазе, при этом в течение 15-20 лет после их закрытия будет интенсивно выделяться биогаз, содержащий 50-60% метана" [9]. Именно в этих зонах целесообразно создавать систему сбора и использования биогаза в первую очередь.

Целым рядом экспертов [15], [16] показана целесообразность ведения мониторинга количественного и качественного состава поступающих ТБО на стадии эксплуатации полигона с целью его зонирования (разделения, картирования на зоны быстро и медленно разлагаемых отходов). Данная информация о расположении зон позволит в дальней-

шем выделить зоны земельного участка полигона для размещения системы сбора биогаза [13].

Помимо установления местоположения участков с потенциальным стабильным метанообразованием, целесообразно определить очерёдность осуществления проектов по их оснащению системой сбора биогаза. Для оптимизации использования земельных ресурсов участков полигона ТБО в качестве источника энергетических ресурсов, необходимо построить математическую модель, определяющую этапы реализации проекта.

В качестве критерия оптимальности модели выбран показатель капиталотдачи Z оснащения зоны земельного участка полигона системой сбора биогаза. Данный критерий непосредственно связан с объёмом планируемых работ и отражает промежуточный ввод в действие (оснащение) отдельных зон земельного участка полигона в процессе выполнения работ по созданию системы сбора биогаза. Он учитывает динамику инвестиций, а также неравноценность затрат и результатов, осуществляемых и получаемых в различные периоды времени.

В предлагаемой экономико-математической модели оптимизации использования земельного участка полигона под организацию системы сбора биогаза необходимо ввести следующие обозначения:

S_i – стоимость оснащения системой сбора биогаза вводимой в эксплуатацию i -й зоны земельного участка полигона, руб.;

t_i – продолжительность оснащения i -й зоны земельного участка полигона, в месяцах;

t_i^H, t_i^O – календарные сроки начала и окончания оснащения i -й зоны участка полигона системой сбора биогаза;

$y_i^t \in \{0;1\}$ – целочисленная переменная, которая означает, если $y_i^t = 1$, то планируется оснащение i -й зоны участка полигона системой сбора биогаза в календарном месяце t , если $y_i^t = 0$, то оснащение в месяце t не планируется;

X_i^T – объём инвестиций, планируемый по i -й зоне, оснащаемой системой сбора биогаза, в месяце t , порядковом с начала осуществления проекта ($t=1,2,\dots, V_i$);

k_t – лимит инвестиций, выделенный на работы по оснащению i -й зоны участка полигона системой сбора биогаза для календарного месяца t ;

V_i – количество месяцев, в течение которых вводится оснащение i -й зоны участка полигона системой сбора биогаза (оснащение каждого земельного участка может начинаться и заканчиваться в любой момент времени внутри календарного месяца t);

T – продолжительность планового периода оснащения участка системой сбора биогаза в месяцах ($t=1, 2,\dots,T$);

$T_{дир}$ – директивный срок создания системы сбора биогаза на полигоне;

$P = \{P_i, i = 1,2,\dots,m\}$ – множество зон, выделенных в составе земельного участка полигона;

T_q^H, T_q^O – срок начала и окончания работ на шаге q , где $q = 1,2,\dots,Q$;

E – норма дисконта, которая учитывает разновременность затрат и вводимых в эксплуатацию зон, оснащённых системой сбора биогаза.

В соответствии с принятыми обозначениями и сформулированными задачами экономико-математическая модель оптимизации использования земельных участков полигона под организацию системы сбора биогаза может быть сформулирована следующим образом.

Требуется найти такие неотрицательные числа y_i^t, X_i^t , чтобы целевая функция была бы максимальной при учёте определённого числа ограничений.

$$Z = \frac{\sum_{t=0}^T \sum_{i=0}^m y_i^t \cdot S_i \cdot \alpha \cdot (T^o - t_i^o)}{\sum_{t=0}^T \sum_{i=0}^m \sum_{\tau=1}^v y_i^t \cdot X_i^t \cdot \alpha \cdot (T^o - t_i^H - \tau)} \rightarrow \max \quad (1),$$

где $\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^{(t_i^H+t_i^o)}}$ – коэффициент дисконтирования.

При следующих ограничениях:

$$y_i^t \in \{0;1\}, i = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T y_i^t \leq 1 \quad (3)$$

$$t_i = t_i^o + t_i^H, i = \overline{1, m} \quad (4)$$

$$X_i^t \geq 0, i = \overline{1, m}, \tau = \overline{1, v} \quad (5)$$

$$X_i^t \leq K_t \quad (6)$$

$$T_\lambda^H = T_q^o, q = \overline{1, Q}, \lambda = q + 1, q + 2 \dots R \quad (7)$$

$$T_q^o \leq T_{\text{дир}} \quad (8)$$

Сформулированная экономико-математическая модель (1)–(8) характеризуется следующими особенностями:

- целевая функция целочисленная и нелинейная, неаддитивная относительно времени, так как в числителе и знаменателе каждое следующее слагаемое зависит от предыдущих;
- допустимое управление на каждом шаге решения представляет собой множество зон участка полигона с системой сбора биогаза, которые не включены в план соответствующего шага решения;
- ограничения модели представляют собой систему линейных уравнений и неравенств.

Целевая функция может быть решена методом пошаговой оптимизации, который заключается в получении оптимального плана создания полигона с системой сбора биогаза с помощью многоэтапного процесса принятия решения.

Критерий капиталотдачи показывает долю освоенных в ходе выполнения работ по созданию системы сбора биогаза капитальных вложений, которые обеспечивают промежуточные вводы зон земельного участка полигона и, таким образом, характеризует их отдачу в результате более раннего получения реализуемого потребителям продукта (биогаза). Поэтому применение полученной экономико-математической модели будет способствовать повышению экономической эффективности инвестиций в оснащение полигонов ТБО системами сбора биогаза.

Список использованных источников

1. Алешина Т.А. Добыча и утилизация свалочного газа для повышения эффективности отечественной электроэнергетики // Вестник МГСУ. – 2010. – № 2. – С. 140-143.
2. Бабурина Т.А. Экологическая оценка негативного влияния сточных вод полигона ТБО (фильтрата) на окружающую среду // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 6(7). – С. 177-178.
3. Горбовская А.Д., Гонина А.В. Необходимость использования отходов для производства энергии в Удмуртской Республике // Евразийский Союз Учёных (ЕСУ). – 2015. – № 11(20). – С. 6-8.
4. Итышев И.К., Потапова С.О. О проблемах пожарной безопасности твёрдых бытовых отходов и мест их хранения // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9(1). – С. 292-300.
5. Кирсанова А.Ю., Филиппова Т.М. Энергетический потенциал "свалочного газа" на полигоне ТБО г. Ангарска // Вестник АГТА. – 2008. – № 1(2). – С. 82-87.

6. Кысыыдак А.С., Салчак А.Д. Энергетический потенциал полигонов твёрдых бытовых отходов // Вестник Тувинского государственного технического университета. – 2013. – № 3. – С. 34-39.
7. Любинская Т.В. Снижение эмиссии биогаза ТБО как важнейший элемент сокращения "парникового" эффекта // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 1. – С. 76-81.
8. Масликов В.И., Чусов А.Н., Черемисин А.В., Рыжакова М.Г. Оценка геоэкологического риска загрязнения атмосферы выбросами полигонов ТБО для выбора мероприятий по рекультивации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2012. – № 2(1). – С. 239-243.
9. Масликов В.И., Чусов А.Н., Молодцов Д.В., Рыжакова М.Г. Зональное определение эмиссий биогаза на полигоне ТБО для оценки геоэкологического состояния и обоснования управления процессами разложения отходов при рекультивации // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2012. – № 2(1). – С. 260-265.
10. Оганесян А., Курита Х., Маслов Д., Таке А. Проект сбора свалочного биогаза и выработки энергии в Ереване // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 12(32). – С. 88-93.
11. Орцханов Т.А. Градостроительные аспекты, направленные на обеспечение экологической безопасности территорий размещения полигонов ТБО // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 150-153.
12. Шаимова А.М., Насырова Л.А., Фасхутдинов Р.Р. Изучение факторов метангенерации в условиях полигона твёрдых бытовых отходов // Башкирский химический журнал. – 2011. – № 18(2). – С. 172-176.
13. Шиловских П.А., Костарев С.Н. Концептуальные подходы к моделированию управления процессами на объектах депонирования отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2007. – № 2. – С. 120-125.
13. Barraqan-Escandon A., Terrados-Cepeda J., Zalamea-Leon E., Arias-Reyes P. Electricity production using renewable resources in urban centers // Energy. – 2018. – Vol. 171. – Iss. 1. – pp. 12-25.
14. Busch G., Grobmann J., Sieber M., Burkhardt M. A New and Sound Technology for Biogas from Solid Waste and Biomass // Water, Air & Soil Pollution: Focus. – 2009. – Vol. 9. – pp. 89-97.
15. Deublein D., Steinhäuser A. Biogas from Waste and Renewable Resources. 2nd ed., Deggendorf: Wiley VCH. – 2011. – 120 p.