

УДК 504.064.4:628.46(477.63)

**Коровяка Е.А.**, канд.техн.наук, доцент,  
**Василенко Е.А.**, аспирант,  
**Манукян Э.С.**, аспирант  
(Государственный ВУЗ «НГУ»)

**РЕГЕНЕРАЦИЯ МЕТАНА, ВЫДЕЛЯЕМОГО МУСОРНЫМИ  
СВАЛКАМИ, И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО УТИЛИЗАЦИИ  
В ДНЕПРОПЕТРОВСКОМ РЕГИОНЕ**

**Коровяка Є.А.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Василенко О.О.**, аспірант,  
**Манукян Е.С.**, аспірант  
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**РЕГЕНЕРАЦІЯ МЕТАНУ, ЩО ВИДІЛЯЄТЬСЯ СМІТТЄВИМИ  
ЗВАЛИЩАМИ, І МОЖЛИВОСТІ ЙОГО УТИЛІЗАЦІЇ  
В ДНІПРОПЕТРОВСЬКОМУ РЕГІОНІ**

**Korovyaka Ye.A.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**Vasilenko Ye.A.**, Doctoral Student,  
**Manukyany E.S.**, Doctoral Student  
(State HEI «NMU»)

**REGENERATION OF METHANE RELEASED FROM LANDFILLS,  
AND POSSIBILITY OF ITS UTILIZATION  
IN DNIPROPETROVS'K REGION**

**Аннотация.** В работе рассмотрен опыт использования полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), как источника высокоэнергетического газа, который может найти применение в различных отраслях промышленности. Целью исследования является рассмотрение перспективы добычи метана с полигонов твердых бытовых отходов в Днепропетровском регионе.

Метан, выделяемый мусорными свалками, может быть эффективно использован в производстве автомобильного топлива, электроэнергии и тепла в зависимости от расположения полигонов относительно хозяйственной инфраструктуры.

Разработаны практические предложения по выбору и обоснованию направлений использования метана, выделяемого мусорными свалками, и технологические схемы утилизации, которые могут быть использованы и дадут достаточный социально-экономический эффект в условиях Днепропетровского региона.

**Ключевые слова:** метан, свалочный газ, регенерация, утилизация, полигоны твердых бытовых отходов, экологическая безопасность.

Метан является основным компонентом газа, выделяемого мусорными свалками (свалочного газа). Выбросы метана в атмосферу делают его основным виновником возникновения «парникового эффекта». В результате сокращения выбросов метана, при улавливании свалочного газа и его применении в качестве энергоносителя, можно добиться производства значительного коли-

чества энергии, а также положительных экономических и экологических результатов.

Осуществление проектов по регенерации энергии свалочного газа, способствует сокращению парниковых газов и загрязняющих воздух веществ, что положительно сказывается на качестве воздуха и снижает потенциальный риск для здоровья человека. Кроме того, проекты по свалочному газу снижают зависимость от отдельных энергоносителей, способствуют экономии, создают рабочие места и помогают развитию экономики на местах. В международном масштабе существуют значительные возможности для расширения применения энергии свалочного газа [1].

Ежедневно в Украине тысячи тонн городских твердых отходов поступают на мусорные свалки. В результате естественного процесса разложения органических веществ, таких как продукты питания и бумага, захороненных на этих свалках, выделяется свалочный газ, являющийся побочным продуктом разложения. Этот газ состоит примерно на 50 % из метана ( $\text{CH}_4$ ), который является основным компонентом природного газа, и на 50 % из двуокиси углерода (углекислого газа) ( $\text{CO}_2$ ) и небольших примесей органических веществ, не входящих в группу метана [4].

Во всем мире мусорные свалки являются третьим по величине антропогенным источником (вызванным деятельностью человека) выбросов и составляют примерно 12 % глобальных выбросов.

Общеизвестно, что в течение последних двух десятилетий население Украины уменьшилось почти на пять миллионов человек (или 10 %) от численности в 51 млн. человек в 1990 г., до 46 млн. в 2010 г., однако количество бытового мусора не только не уменьшается, но, наоборот, продолжает накапливаться и увеличиваться. Например, за последние десять лет объем бытовых отходов – продуктов жизнедеятельности каждого жителя в Украине, увеличился на 40 %. Департамент экологической безопасности Министерства охраны окружающей среды оценивает концентрацию в Украине всех видов отходов в объеме около 35 млрд. т., причем 2,6 млрд. т. являются высокотоксичными [2].

По данным экологов, каждый украинец ежегодно создает около 220-250 кг твердых бытовых отходов, а жители больших городов – 330-380 кг, и эти объемы постоянно растут. Более 90 % твердых бытовых отходов (ТБО) в Украине вывозится на свалки и полигоны. Захоронение отходов на свалках требует отчуждения больших территорий и их дорогостоящего обустройства. Как сообщает Национальный экологический центр Украины, на полигонах и свалках Украины накопилось больше миллиарда кубометров отходов жизнедеятельности человека, из которых, согласно официальным данным Госкомстата Украины, повторную переработку проходит 3,5 %. Все эти отходы занимают более 7 тыс. га земли, это фильтрат, загрязняющий грунт, отравляющий грунтовые воды, приносящий невосполнимый вред здоровью людей. Кроме того, это свалочный газ, образующийся при захоронении органических веществ, макрокомпонентами которого является метан ( $\text{CH}_4$ ) и диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). На рис. 1 представлено ориентировочное распределение объемов выбросов  $\text{CH}_4$  с мусор-

ных свалок в промышленных областях Украины [3].

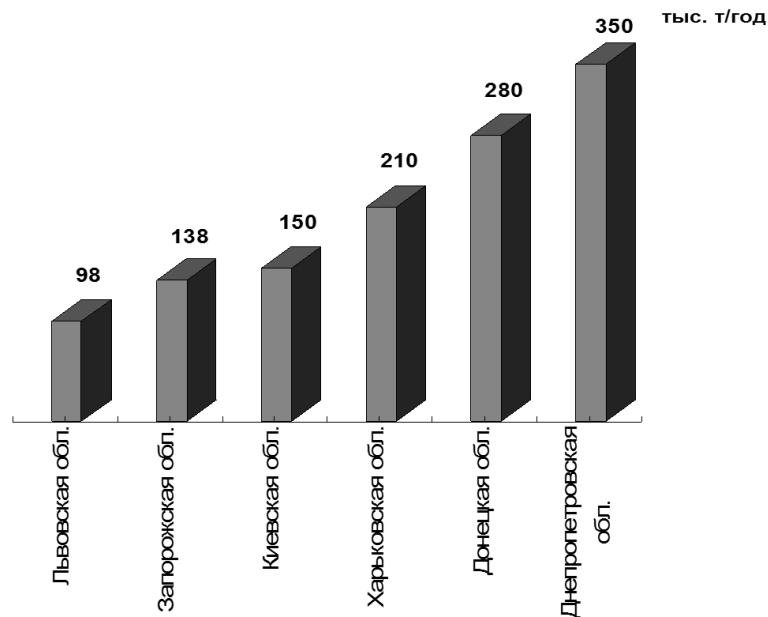


Рисунок 1 – Общий объем выбросов метана с мусорных свалок в промышленных областях Украины за 2011 год

Днепропетровский регион был провозглашен зоной чрезвычайного экологического бедствия еще в 2007 г. Но ситуация не только не улучшилась за последние годы, но и продолжает ухудшаться. В городе ежегодно образуется 300-350 тыс. т. ТБО и до 400 тыс. т. строительного мусора (рис. 2). Для его захоронения используются два полигона: небольшую часть вывозят на полигон под г. Новомосковском, около 140-150 тыс. т. направляется на завод по сжиганию бытовых и строительных отходов, а все остальные отходы, то есть половина всего объема остается на несанкционированных свалках в пределах города [6].

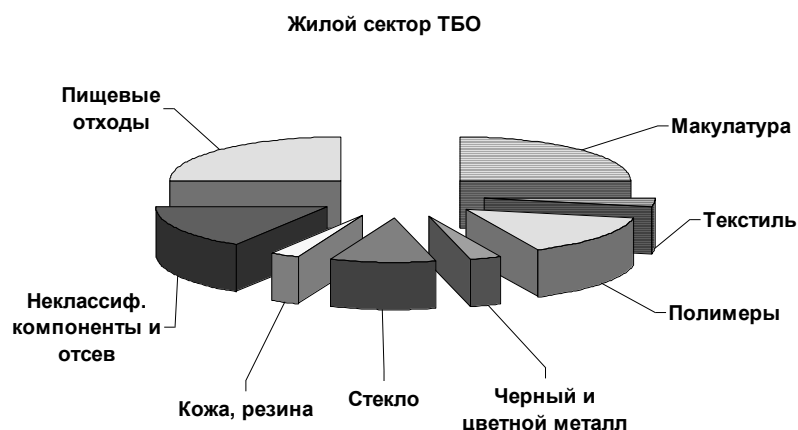


Рисунок 2 – Состав твердых бытовых отходов в Днепропетровском регионе на 2010 год

Возможность проведения процесса регенерации метана, можно показать на примере муниципальной Игреньской свалки, площадью 14,9 га, расположен-

ной за жилым массивом Игрень по Синельниковскому шоссе (рис. 3). Среднее расстояние от центра города – 22 км. Она эксплуатировалась с 1974 г., в 2007 г. была закрыта [6].



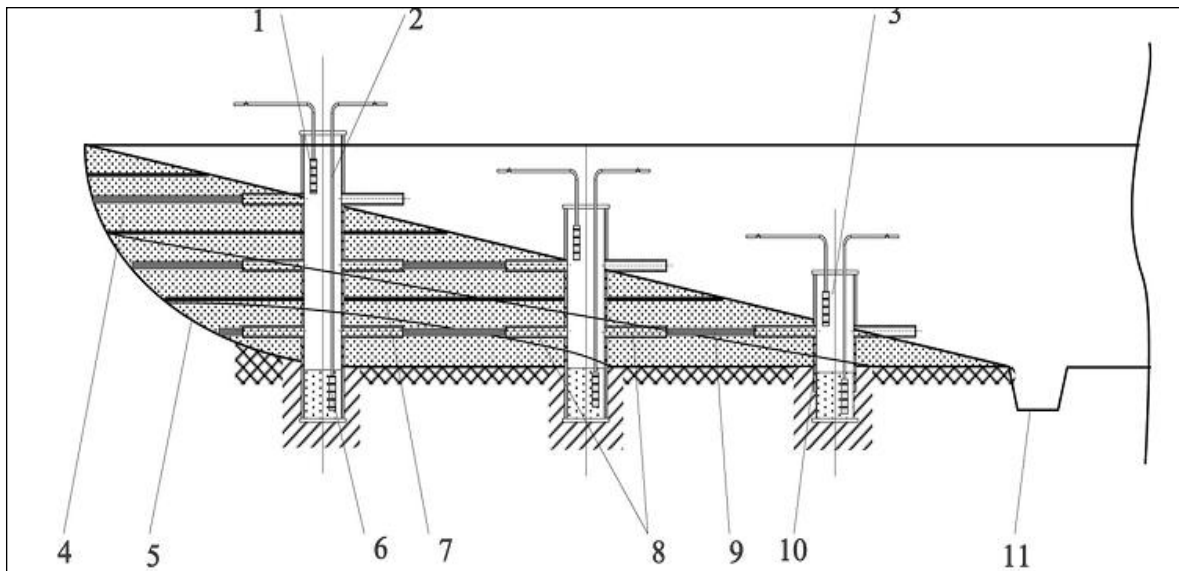
Рисунок 3 – Игреньская свалка (фото сделано автором)

Сбор свалочного газа из мусорных свалок производится при помощи ряда скважин и вакуумной системы, подающей собранный газ в место обработки. Оттуда свалочный газ поступает для применения в различных целях.

Технологическая схема извлечения свалочного газа следующая. Для экстракции свалочного газа на полигонах обычно используется следующая принципиальная схема: сеть вертикальных газодренажных скважин соединяют линиями газопроводов, в которых компрессорная установка создает разрежение, необходимое для транспортировки свалочного газа до места использования (рис. 4). Установки по сбору и утилизации монтируются на специально подготовленной площадке за пределами свалочного тела. Принципиальная технологическая схема системы по сбору свалочного газа приведена на рис. 5.



Рисунок 4 – Блок схема установки для добычи и утилизации биогаза



1–газосборник; 2–полимерный трубопровод для отвода фильтрата; 3–колодезь вертикального газового дренажа; 4–отходы ТБО; 5–основание полигона; 6–эрлифт; 7–противофильтрационный слой ФРМ и БРМ; 8–система горизонтального газового дренажа; 9–инициирующие компоненты биологического происхождения; 10–система вертикального газового дренажа; 11–дренажная канава

Рисунок 5 – Принципиальная схема полигона

Варианты применения свалочного газа в Днепропетровском регионе:

- производство электроэнергии с использованием двигателей, турбин, микротурбин и других технологий;
- переработка свалочного газа для изготовления альтернативного топлива для местных промышленных предприятий или других организаций, нуждающихся в постоянных поставках топлива. Непосредственное применение свалочного газа является надежным и требует минимальной переработки и незначительных модификаций имеющегося оборудования для сжигания;
- использование свалочного газа для производства газа газопроводного качества или альтернативного транспортного топлива.

Для добычи свалочного газа на полигонах ТБО применяются вертикальные скважины. Обычно они располагаются равномерно по территории свалочного тела с шагом 50-100 м между соседними скважинами. Их диаметр колеблется в интервале 200-600 мм, а глубина определяется мощностью свалочного тела и может составлять несколько десятков метров [4].

При бурении скважин в толще отходов в украинских условиях, наиболее целесообразным считается использование шнекового бурения.

Процесс сжигания в факеле является оправданным с той точки зрения, что погрешность расчета газообразования составляет обычно не менее 30 %. В случае отсутствия надежных данных о морфологическом составе ТБО и регистрации количества завозимых ТБО погрешность может увеличиться в несколько раз. Если биогаз планируется использовать в энергетических целях, такая погрешность недопустима.

*Наиболее простая схема этого процесса выглядит следующим образом:*

- установка по откачиванию газа мусорной свалки,
- система обезвоживания,
- контроль и управление процессом,
- анализ газа,
- сжигание поступления.

*Безкислородное брожение ТБО.* На первом этапе строительства создаётся принимающая ёмкость (котлован – рис. 6), рассчитанный на 10-20 лет пользования. На дне котлована укладывается слой глины толщиной 1 м (или полиэтиленовая плёнка) для предотвращения проникновения загрязненных вод в почву. В процессе строительства мусор вносится в котлован порциями в специальные ячейки, соответствующими суточной норме его поступления на свалку. Каждая такая ячейка высотой от 2 до 4 м изолируется глиной от предшествующих и последующих [7].



Рисунок 6 – Котлован для переработки мусора (Мексика)

После заполнения котлована мусором, его закрывают «кровлей» – глиной, плёнкой, засыпают землёй, сверху высаживают траву. Котлован оснащается инженерными сооружениями для отвода жидких и газообразных продуктов разложения мусора. В теле котлована закладываются скважины, трубы, устанавливается насосное оборудование. Полученный газ передаётся по трубопроводам на электростанции, котельные, печи обжига, микротурбины и т. д.

Первые 2-3 месяца из закрытого котлована с мусором выходит, в основном, CO<sub>2</sub>. Затем начинается выделение полноценного свалочного газа, которое продолжается до 30-70 лет. После 25 лет выработка метана начинает медленно сокращаться. После прекращения выработки газа территория, занятая котлованом, может быть вновь использована для повторного использования и переработки муниципального мусора [5].

*Пункт сбора свалочного газа.* Газосборный пункт предназначен для принудительного извлечения свалочного газа из свалочной толщи. Для этого с помощью специального электровентилятора в системе газопроводов создается небольшое разрежение (около 100 мбар).

Способ сбора и отвода свалочного газа может быть использован при обезвреживании твердых бытовых и промышленных отходов путем захоронения их на полигонах. В способе сбора и отвода свалочного газа на полигоне, включающем подготовку основания, монтаж системы вертикального газового дренажа из скважин с перфорированными стенками, послойную укладку отходов, монтаж системы горизонтального газового дренажа на поверхности каждого завершённого слоя отходов в виде дрен, изолирующее покрытие поверхности сформированного полигона, отвод свалочного газа из скважин. При этом на фундаментах, распределенных по площади полигона, оборудуют скважины вертикального газового дренажа на определенную высоту. Затем производят засыпку внутренней полости и обсыпку внешней поверхности каждой скважины. После укладки первого слоя отходов формируют на его поверхности горизонтальные дренажи, примыкающие к внешней дренирующей обсыпке скважин. Нарращивают перфорированные скважины до определенной высоты. Обсыпают внешнюю поверхность скважин на высоту следующего слоя отходов дренирующим материалом. В последнем цикле наращивания скважины оборудуют стенками без перфораций, выше поверхности сформированного полигона и без обсыпки их внешней поверхности дренирующим материалом [5].

*Газовые котлы.* Непосредственное сжигание биогаза в котлах сети централизованного теплоснабжения, а также промышленных котлах в радиусе 3 км от полигона, как правило, является наиболее рентабельным способом его утилизации. Существенным фактором, влияющим на экономические показатели проекта, является наличие относительно равномерного потребления биогаза на протяжении всего года.

Современные бытовые и промышленные газовые котлы, как правило, не предназначены для работы на низкокалорийном биогазе. Ситуация осложняется еще тем, что в биогазе в значительных концентрациях может содержаться углекислый газ [8].

Одним из способов решения этой задачи является применение специально разработанных щелевых подовых горелок для сжигания биогаза. При разработке конструкции горелок учтены специфические особенности горения биогаза (малые пределы устойчивости пламени и т.д.). Они могут работать в широком диапазоне режимов эксплуатации котла с расходом биогаза от 160 до 318 куб.м/ч. Горелки изготовлены из специальных сталей, имеют съемные сопла, которые не подвержены сероводородной коррозии, а также имеют специальные устройства для стабилизации пламени. С целью уменьшения коэффициента избытка воздуха горелки имеют специальные полосы, направляющие воздух к каждому из сопел и не допускают большого избытка воздуха [3].

*Технологии получения тепловой и электрической энергии с использованием свалочного газа.* В процессе активной стадии дегазации полигона выделяющийся из субстрата свалочный газ собирается, например, в газгольдере через систему удаления конденсата водных паров. Из газгольдера свалочный газ поступает к потребителям через систему очистки от вредных примесей: воды, серы, углекислого газа. Очищенный газ поступает непосредственно в котлы для производства тепла или в когенерационные установки для выработки электроэнергии. Также свалочный газ может использоваться для производства холода на абсорбционных или комбинированных холодильных машинах и т.д. [9].

**Выводы.** С учётом произведённых нами исследований можно сделать следующие выводы:

- полигоны ТБО Днепропетровского региона являются источниками высокоэнергетического газа, содержащего до 70 % биометана, который может быть эффективно использован в производстве автомобильного топлива, электроэнергии и тепла в зависимости от расположения полигонов относительно хозяйственной инфраструктуры;
- утилизация свалочного биогаза позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в области, предотвратив выделение парниковых газов в объёме 350 тыс. т/год  $\text{CO}_2$  – эквиваленте, а так же токсичных веществ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України № 1391-14 від 19.06.2009 «Про альтернативні види палива».
2. Закон України № 1391-17 від 21.05.2009 «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива».
3. Пятничко, А.И. Утилизация биогаза закрытых полигонов ТБО / А.И.Пятничко, В.Е. Баннов// Экология плюс. – 2009. – № 4 – С. 12-14.
4. Бондаренко, Б.І. Проблема утилізації твердих побутових відходів та знешкодження небезпечних відходів в Україні; Від проекту концепції – до державної науково-технічної програми/ Б.І. Бондаренко, В.А. Жовтянський // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 4. – С. 63-69.
5. Крушневич, Т.К. Извлечение метана из биогаза полигонов и подача его в магистральный газопровод/ Т.К.Крушневич, А.И. Пятничко // Технические газы. – 2006. – № 3. – С. 41-43.
6. Borner, D.R Development of Solid Waste Management in Germany and possible teachings for Participative Waste Management in Santiago de Chile / Dr. Joachim Borner, Thomas Klopping. - Kolleg fur Management und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung gGmbH, Germany. - 2003
7. Jackobsen, H. Case studies on waste minimization practices in Europe / H.Jackobsen, M.Kristoferssen // Topic report - European Topic Centre on Waste European Environment Agency. - 2007. - February
8. Офіційний сайт Дніпропетровської обласної державної адміністрації – Дніпропетровська об-



ласть, Новини регіону [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://adm.dp.ua/OBLADM/obldp.nsf/archive/3E2AEC730D59F164C225730E00473948?opendocument>. – Загл. с екрана.

9. Глобальная инициатива по метану: Глобальные выбросы метана и возможности их снижения [Електронний ресурс].- Режим доступа: <http://www.globalmethane.org/gmi/>. – Загл. с экрана.

#### REFERENCES

1. Law of Ukraine (2009), № 1391-14 vid 19.06.2009 “ On Alternative Fuel”, Kiev, Ukraine.
2. Law of Ukraine (2009), № 1391-17 vid 21.05.2009 “ n amending some laws of Ukraine to promote the production and use of biofuels” Kiev, Ukraine.
3. Pjatnichko, A.I. and Bannov, V.E., (2009) “Utilization of biogas of the closed grounds of hard domestic wastes”, *Ecology plus*, no. 4, pp. 12-14.
4. Bondarenko, B.I. and Zhovtjans'kij, V.A., (2008) “The problem of solid waste and disposal of hazardous waste in Ukraine”, *From project concept - to state scientific and technical programs*, no. 4, pp. 63-69.
5. Krushnevich, T.K. and Pjatnichko, A.I. (2006) “Ejecting methane from the biogas polyhonov and feed it into main gas pipeline”, *Technical gases*, no. 3, pp. 41-43.
6. Dr. Borner, J. Klopping, T. (2003) “Development of Solid Waste Management in Germany and possible teachings for Participative Waste Management in Santiago de Chile”, *Kolleg fur Management und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung gGmbH*, Germany.
7. Jackobsen, H., Kristoferssen, M. (2007). “Case studies on waste minimization practices in Europe” *Topic report - European Topic Centre on Waste European Environment Agency*, February
8. The official site of Dnepropetrovsk Regional State Administration – Dnipropetrovsk oblast, (2011), “News of the region”, available at: <http://adm.dp.ua/OBLADM/obldp.nsf/archive/3E2AEC730D59F164C225730E00473948?opendocument> (Accessed January 4, 2011).
9. Global initiative on methane: Global extrass of methane and possibility of their decline (2011), available at: <http://www.globalmethane.org/gmi/> (Accessed January 4, 2011).

#### Об авторах

**Коровяка Евгений Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры Транспортных систем и технологий, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина. [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

**Василенко Елена Александровна**, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

**Манукян Эдгар Самвелович**, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина. [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

#### About the authors

**Korovyaka Yevgeniy Anatolyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of Transport Systems and Technology, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnipropetrovsk, Ukraine. [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

**Vasilenko Yelena Aleksandrovna**, Doctoral Student, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

**Manukyanyan Edhar Samvelovych**, Doctoral Student, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine. [vasilenkoelena20@ukr.net](mailto:vasilenkoelena20@ukr.net).

**Анотація.** В роботі розглянуто досвід використання полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), як джерела високоенергетичного газу, який може знайти застосування в різних галузях промисловості. Метою дослідження є розгляд перспективи видобутку метану з полігонів твердих побутових відходів в Дніпропетровському регіоні.

Метан, що виділяється сміттєвими звалищами, може бути ефективно використаний у виробництві автомобільного палива, електроенергії і тепла в залежності від розташування полігонів щодо господарської інфраструктури.

Практичні пропозиції щодо вибору та обґрунтуванню напрямів використання метану, що

виділяється сміттєвими звалищами, і технологічні схеми утилізації, які можуть бути використані й дадуть достатній соціально-економічний ефект в умовах Дніпропетровського регіону.

**Ключові слова:** метан, газ звалища, регенерація, утилізація, полігони твердих побутових відходів, екологічна безпека.

**Abstract.** The paper describes experience of the solid waste (SW) use as a source of high-energy gas that can find an application in various industries. Purpose of this study is to analyze prospects for producing methane from the landfills in Dnipropetrovs'k region.

Methane released from the landfills can be effectively used in production of automobile fuel, electric power and heat depending on the polygon location relatively to the particular economic infrastructure.

Practical suggestions on choosing and grounding types of landfill methane usage and technological schemes for its utilization can be used with good socio-economic effect in terms of the Dnipropetrovs'k region.

**Keywords:** methane, landfill gas, regeneration, utilization, solid waste landfills, environmental safety.

*Стаття поступила в редакцію 30.09.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским*