



---

## **Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции  
о трансграничном загрязнении воздуха  
на большие расстояния

**Сорок третья сессия**

Женева, 11–14 декабря 2023 года

Пункт 3 b) предварительной повестки дня

**Обзор осуществления плана работы**

**на 2022–2023 годы: политика**

### **Проект руководящего документа по техническим мерам для сокращения выбросов метана с мусорных полигонов и из сети природного газа и биогазовых установок**

#### *Резюме*

Настоящий документ, подготовленный Целевой группой по технико-экономическим вопросам в соответствии с ее мандатом, был обсужден Рабочей группой по стратегиям и обзору на ее шестьдесят первой сессии (Женева, 4–6 сентября 2023 года) и препровожден Исполнительному органу для принятия на его сорок третьей сессии (ЕСЕ/ЕВ.АИР/130, готовится к изданию). Он имеет своей целью оказать поддержку Сторонам в сокращении выбросов метана из основных несельскохозяйственных источников, таких как полигоны твердых бытовых отходов, системы поставок природного газа и биогазовые установки.



## I. Введение

1. Настоящий проект руководящего документа по мерам по сокращению выбросов метана ( $\text{CH}_4$ ), разработанный Целевой группой по технико-экономическим вопросам, имеет своей целью оказать поддержку Сторонам в сокращении выбросов  $\text{CH}_4$  из основных несельскохозяйственных источников. Руководящий документ охватывает выбросы  $\text{CH}_4$ , образующихся на полигонах твердых бытовых отходов и в системах поставок природного газа и биогазовых установках. Этот документ включает в себя информацию о выбросах свалочного газа и технико-экономический анализ систем его сбора и утилизации. Кроме того, в нем рассматривается информация о выбросах из сети природного газа и сопутствующих выбросах на всех этапах производственно-сбытовой цепочки. Помимо технических аспектов сокращения выбросов за счет, например, применения пневматических и компрессорных систем с нулевым уровнем выбросов, ключевое значение для сокращения выбросов  $\text{CH}_4$  из системы поставок природного газа имеют такие дополнительные управленческие меры, как уменьшение выбросов при техническом обслуживании и проведение программ инспекций для раннего выявления непреднамеренных неорганизованных выбросов, также называемого как «обнаружение и устранение утечек». Кроме того, в настоящем документе представлены прогнозы выбросов  $\text{CH}_4$  из биогазовых установок, которые также считаются важным источником выбросов  $\text{CH}_4$ , возникающих в ходе их технического применения. Проект руководства по совместному снижению выбросов  $\text{CH}_4$  и  $\text{NH}_3$ , разработанный Целевой группой по химически активному азоту в сотрудничестве с Целевой группой по технико-экономическим вопросам, также актуален для выбросов  $\text{CH}_4$  из биогаза.

2. Антропогенные выбросы  $\text{CH}_4$  стали новой областью повышенного интереса в отношении мер по снижению выбросов, поскольку  $\text{CH}_4$  является как важным парниковым газом (ПГ), так и загрязнителем воздуха, так как действует как прекурсор приземного озона. Приземный озон играет важную роль как загрязнитель воздуха, оказывающий воздействие как на здоровье человека, так и на окружающую среду, а также является основным компонентом смога. Поэтому уменьшение выбросов  $\text{CH}_4$  считается мерой, представляющей интерес как для политики в области изменения климата, так и для политики по борьбе с загрязнением воздуха.

3. Ввиду разнообразия выбросов  $\text{CH}_4$  из различных источников и отраслей промышленности меры по сокращению выбросов  $\text{CH}_4$  многообразны и не могут быть сведены к упрощенному набору технических мер. Так, во многих случаях сокращение выбросов из сети природного газа и управленческие аспекты, такие как процедуры технического обслуживания и раннее обнаружение утечек, являются одними из наиболее важных мер по сокращению выбросов. Однако обнаружение утечек может также дополняться современными технологиями использования мобильных датчиков, как это описано в разделе III.B ниже.

4. В представленном ниже обзоре изложены основные вопросы, касающиеся выбросов и сокращения выбросов, которое может быть достигнуто путем реализации соответствующих мер в отношении свалок (газообразования) и сети поставок природного газа, включая некоторые соображения по биогазовым установкам. Представленная информация основана на последних данных, полученных из различных научных и промышленных источников, а также от государственных учреждений, таких как агентства по охране окружающей среды.

## II. Исходная информация

### A. Выбросы метана

5.  $\text{CH}_4$  является вторым по объему источником выбросов ПГ после диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), который рассматривается в качестве самого важного ПГ. На долю  $\text{CH}_4$

приходится около 19 % общих глобальных выбросов ПГ<sup>1</sup>. В дополнение к важности сокращения выбросов СН<sub>4</sub> для предотвращения изменения климата следует отметить, что СН<sub>4</sub> является прекурсором приземного озона, который представляет собой проблему для окружающей среды и здоровья человека. Поэтому выбросы СН<sub>4</sub> также имеют огромное значение с точки зрения загрязнения воздуха и воздействия на здоровье человека. В этой связи СН<sub>4</sub> необходимо рассматривать и как ПГ, и как загрязнитель воздуха<sup>2</sup>.

6. Согласно базовым оценкам, около 40 % глобальных выбросов СН<sub>4</sub> приходится на долю биогенных (природных) источников, таких как водно-болотные угодья, а остальные 60 % — антропогенных источников<sup>3</sup>. Концентрация СН<sub>4</sub> в атмосфере утроилась с начала индустриализации в 1750 году<sup>4</sup>. Рост выбросов СН<sub>4</sub> в значительной степени связан с увеличением выбросов в результате деятельности человека, такой как ведение сельского хозяйства, производство ископаемого топлива и обработка твердых отходов и сточных вод, при этом сельское хозяйство является крупнейшим антропогенным источником глобальных выбросов СН<sub>4</sub>.

7. В настоящее время около 50 % антропогенных выбросов СН<sub>4</sub> образуется в результате деятельности в сельском хозяйстве (в основном за счет животноводства и энтерального образования СН<sub>4</sub> крупным рогатым скотом и овцами или выбросов из жидкого навоза и при производстве риса)<sup>5</sup>. Газы, образующиеся на полигонах твердых бытовых отходов и при добыче нефти и газа, являются крупнейшими несельскохозяйственными источниками выбросов СН<sub>4</sub>.

8. В качестве примера можно отметить, что с 1990 года в Европейском союзе предпринимаются действия по сокращению выбросов СН<sub>4</sub>, которые в сочетании с введением структурных мер привели к снижению выбросов СН<sub>4</sub> в регионе Европейского союза примерно на 37 %. Однако это снижение в основном обусловлено сокращением объемов отходов, хранящихся на свалках, и масштабов деятельности по добыче угля, которые непосредственно влияют на уровень выбросов СН<sub>4</sub> в Европе. На глобальном уровне наблюдается постоянный рост антропогенных выбросов СН<sub>4</sub> в результате сельскохозяйственной деятельности, добычи ископаемого топлива и захоронения отходов<sup>6</sup>. Поэтому имеется значительный потенциал для сокращения выбросов СН<sub>4</sub>, особенно ряд вариантов, касающихся выбросов на свалках и операций, связанных с природным газом, которые обсуждаются в последующих разделах. Далее в настоящем руководстве кратко рассматривается вопрос о выбросах СН<sub>4</sub> из биогазовых установок, которые также считаются технологическими выбросами и поэтому подпадают под пересмотренный мандат Целевой группы по технико-экономическим вопросам. Сельскохозяйственные выбросы, несмотря на их высокую актуальность, не рассматриваются в настоящем руководстве, поскольку сельскохозяйственные источники входят в компетенцию Целевой группы по химически активному азоту.

<sup>1</sup> J. G. J. Olivier and J.A.H.W. Peters, *Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gas emissions: Summary of the 2019 Report* (The Hague, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2019).

<sup>2</sup> European Environment Agency (EEA), “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019: Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol”, EEA/PUBL/2019/051 (n.p., 2019).

<sup>3</sup> International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2017* (n.p., 2017).

<sup>4</sup> Shushi Peng and others, “Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2017”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol.16, No. 22 (2016), pp. 14545–14562.

<sup>5</sup> EEA, “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017”.

<sup>6</sup> Zosia Staniaszek and others, “The role of future anthropogenic methane emissions in air quality and climate.” *npj Climate and Atmospheric Science*, vol. 5, art. No. 21 (2022).

## В. Выбросы от захоронения отходов

### Свалочные газы

9. Согласно оценкам, ежегодный объем глобальных выбросов  $\text{CH}_4$ , образующихся на свалках, составляет 500–800 Мт эквивалента  $\text{CO}_2$  (Мт  $\text{CO}_2$  экв./год)<sup>7</sup>. За период 1970–2010 годов объем прямых выбросов в секторе городских отходов практически удвоился. Во всем мире только около 20 % твердых бытовых отходов рециркулируется и примерно 13,5 % перерабатывается с получением энергии, при этом их оставшиеся объемы хранятся на открытых свалках или полигонах<sup>8</sup>. В Европейском союзе в последние годы доля отходов, размещаемых на свалках, постоянно снижалась и в настоящее время составляет около 15 %<sup>9</sup>. Однако между государствами — членами Европейского союза все еще существуют значительные различия. В Восточной Европе, на Кавказе и в Центральной Азии уровень захоронения отходов в прошлом достигал 100 %<sup>10</sup> (от общего объема отходов), и, несмотря на отсутствие актуальных данных, можно предположить, что нынешний уровень захоронения твердых бытовых отходов ненамного ниже среднемирового. Согласно оценкам, ежегодно на мировых свалках образуется около 50 Мт  $\text{CH}_4$ , из которых 6 Мт собирается или удаляется на санитарных мусорных полигонах<sup>11</sup>.

10. Твердые бытовые отходы содержат значительную часть органических материалов, которые при складировании, уплотнении и укрытии на мусорных полигонах образуют разнообразные газообразные продукты. Анаэробные бактерии активно размножаются в бескислородной среде, что приводит к разложению органических материалов и выделению в основном  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ <sup>12</sup>.

11. Свалочный газ образуется в четыре этапа. Сначала в аэробных условиях образуется  $\text{CO}_2$ . Затем содержание кислорода ( $\text{O}_2$ ) снижается, и в анаэробных условиях вырабатываются  $\text{CO}_2$  и водород ( $\text{H}_2$ ). Затем образование  $\text{CO}_2$  снижается пропорционально образованию  $\text{CH}_4$ . И наконец, выработка  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и азота ( $\text{N}_2$ ) стабилизируется. Далее с  $\text{CH}_4$ , вырабатываемым анаэробными метаногенными микроорганизмами на свалках, могут происходить указываемые ниже изменения:

- a) поступление в атмосферу в виде выбросов;
- b) рекуперация через газовые скважины;
- c) окисление аэробными метанотрофными микроорганизмами в покровных почвах.

12. Рекуперация  $\text{CH}_4$  на тех или иных объектах (также называемая «эффективностью улавливания») зависит от типа мусорного полигона и варьирует от 10 % для открытых свалок до 75 % для базовых полигонов и 85 % для специально оборудованных полигонов захоронения отходов<sup>13</sup>. Однако на некоторых успешно спроектированных и эксплуатируемых полигонах, размер окончательного покрытия

<sup>7</sup> United States Environmental Protection Agency (US EPA), “Global Anthropogenic Non- $\text{CO}_2$  Greenhouse Gas Emissions: 1990–2020” (Washington, D.C., 2006).

<sup>8</sup> Ottmar Edenhofer and others, eds., *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change – Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (New York, Cambridge University Press, 2014).

<sup>9</sup> EEA, “Diversion of water from landfill in Europe”, URL: [www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill](http://www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill).

<sup>10</sup> United Nations Environment Programme (UNEP) and EEA, *Sustainable Consumption and Production in South-East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia: Joint UNEP-EEA Report on the Opportunities and Lessons Learned*, EEA Report No. 3/2007 (Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2007).

<sup>11</sup> См. определение термина «свалочный газ» в Eduardo Calvo Buendia and others, eds., *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Glossary* (n.p., Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019), definition of the term “Landfill gas”; and Nikolas Themelis and Athanasios Bourtsalas, “UK waste management: Growing old or growing clean”, *Waste Management World*, 5 June 2013.

<sup>12</sup> Buendia and others, *2019 Refinement*.

<sup>13</sup> Ibid.

которых достигал 95 %<sup>14</sup>, была отмечена значительно более высокая эффективность его улавливания. Подробное описание соответствующих технических мер по сокращению выбросов CH<sub>4</sub> со свалок представлено в разделе III ниже.

### **С. Выбросы из сети природного газа**

13. Нефтегазовый сектор, включающий переработку и транспортировку природного газа, является одним из основных источников выбросов CH<sub>4</sub> в мире. Выбросы могут происходить на различных этапах: при добыче, переработке, транспортировке и хранении. Хотя в процентном отношении доля утечек CH<sub>4</sub> по отношению к общему объему добываемого природного газа может показаться небольшой (обычно в пределах 1–3%), с учетом больших объемов добычи природного газа эти выбросы значительны. Ввиду сравнительно низких уровнях добычи природного газа в 28 странах — членах Европейского союза доля выбросов в них составляет всего около 5 % от общего объема выбросов<sup>15</sup>.

14. Ниже приводится краткое описание различных технологических этапов сбора, компримирования, транспортировки и распределения газа. По всей цепочке поставок газа имеется множество источников выбросов CH<sub>4</sub>. Такие выбросы относятся к категориям «неорганизованных» или «организованных» выбросов<sup>16</sup>:

а) неорганизованные выбросы возникают при непреднамеренной «утечке» CH<sub>4</sub> из оборудования, например при нарушении фланцевых соединений и функционировании клапанов. Кроме того, причиной возникновения неорганизованных выбросов обычно являются утечки в трубопроводах или резервуарах;

б) организованные выбросы возникают, когда CH<sub>4</sub> высвобождается в атмосферу из-за особенностей конструкции оборудования или при осуществлении рабочих процедур, таких как прокачка пневматических устройств, продувка, неполное сгорание или вентилирование оборудования. Организованные выбросы могут быть регулярными или нерегулярными.

15. Сеть поставок природного газа состоит из базовых производственных объектов, в которых сырой природный газ собирается из различных скважин. Затем сырой газ, содержащий воду, серу, дополнительный спектр углеводородов и другие примеси, поступает на газоперерабатывающий завод, где он очищается и подготавливается к транспортировке. Поскольку природный газ обычно транспортируется по магистральным трубопроводам на очень большие расстояния, необходимо высокое давление, которое создается на соответствующих компрессорных станциях, расположенных вдоль линий его передачи. Крупные потребители, такие как электростанции, иногда напрямую подключаются к газопроводам. Однако большая часть природного газа передается от газопроводов к городским газораспределительным станциям (ГРС). ГРС — это точка, где магистральный трубопровод соединяется с распределительной системой более низкого давления, которая доставляет природный газ непосредственно к потребителям (домам и предприятиям). На ГРС давление газа снижается и обычно в газ добавляется одорант (как правило, меркаптан), позволяющий обнаруживать утечки по характерному запаху. В некоторых странах, например в Испании и Франции, одорант добавляется непосредственно в трубопроводный газ. Если рабочее давление в магистральных трубопроводах может превышать 70 бар (1000 фунтов на квадратный дюйм, распределительные системы работают при гораздо более низком значении давления (1,5–10 бар)<sup>17</sup>.

<sup>14</sup> Themelis and Bourtsalas, “UK Waste Management”.

<sup>15</sup> EEA, “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017”.

<sup>16</sup> Alberta Energy Regulator, “Directive 060: Upstream Petroleum Industry Flaring, Incinerating, and Venting” (n.p., 2018).

<sup>17</sup> Marcogaz, “Potential ways the gas industry can contribute to the reduction of methane emissions: Report of the Madrid Forum (5–6 June 2019)” (n.p., n.d.).

16. Ниже перечислены и дается краткое описание основных источников выбросов и связанных с ними процессов по всей сети газоснабжения<sup>18</sup>:

а) **Добыча.** Сырой газ (включая  $\text{CH}_4$ ) высвобождается на различных этапах процесса добычи. Утечка газа может происходить при заканчивании скважины на начальном этапе добычи. Поскольку газовые скважины часто находятся в удаленных районах, не имеющих источников электроснабжения, давление газа используется для регулирования и запитывания различных контрольных устройств и оборудования на месте, например насосов. Такие пневматические устройства обычно выпускают или «сравливают» небольшое количество газа во время своей работы. Вода и углеводородные жидкости отделяются от потока продукции в устье скважины. Жидкости выделяют газ, который может выбрасываться из резервуаров, если он не улавливается. Вода удаляется из газового потока с помощью гликолевых дегидраторов, которые осаждают удаленную влагу и выпускают часть газа в атмосферу. В некоторых случаях газ, выделяющийся при осуществлении этих процессов и эксплуатации оборудования, может сжигаться на факеле, а не выпускаться в атмосферу для обеспечения безопасности и снятия избыточного давления в различных частях системы добычи и доставки газа. При сжигании в факелах образуется  $\text{CO}_2$ , но эффективность сжигания ниже 100 % и в любом случае при сжигании выделяется некоторое количество  $\text{CH}_4$ . В дополнение к различным источникам организованных выбросов наличие множества компонентов и сложной сети мелких линий сбора газа может привести к возникновению неорганизованных выбросов, особенно на нетрадиционных месторождениях, которые разрабатываются с помощью гидроразрыва пласта<sup>19</sup>.

б) **Переработка.** Хотя в некоторых случаях газ имеет достаточную чистоту для использования напрямую в естественном виде, большая его часть сначала транспортируется по трубопроводу из устья скважины на газоперерабатывающий завод. Система сбора оснащена пневматическими устройствами и компрессорами для отвода газа, а также возможных неорганизованных выбросов. На газоперерабатывающих заводах из сырого газа удаляются дополнительные углеводородные жидкости, такие как пропан (и другие жидкие углеводороды), а также газообразные примеси, включая  $\text{CO}_2$ , с целью очистки газа и достижения его качества, отвечающего характеристикам трубопровода, для последующего компримирования и передачи. Такие заводы являются еще одним источником неорганизованных и организованных выбросов. С газоперерабатывающего завода природный газ транспортируется, как правило, на большие расстояния по межгосударственному трубопроводу до ГРС, а затем конечному потребителю. Подавляющее большинство компрессоров, используемых для создания в трубопроводе давления, необходимого для транспортировки газа, работают на природном газе, хотя небольшая часть компрессоров имеет электрическое питание. Компрессоры являются источником выбросов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , образующихся в результате горения топлива, а также источником неорганизованных и организованных выбросов  $\text{CH}_4$ , образующихся в связи с утечками в уплотнениях, клапанах и арматуре компрессоров и вследствие утечек во время их эксплуатации и технического обслуживания.

в) **Компрессорная станция.** Компрессорные станции являются основным источником организованных выбросов  $\text{CH}_4$  при транспортировке природного газа. В основном это связано с регулированием давления или сбросом газа для технического обслуживания и ремонта.

г) **ГРС и распределительная сеть.** Газораспределительные линии обычно требуют меньшей мощности для сжатия газа, в том числе из-за более низкого необходимого давления. Тем не менее сжатие необходимо, и оно приводит к организованным выбросам. Другие выбросы  $\text{CH}_4$  происходят в виде

<sup>18</sup> Pipeline Safety Trust, "Pipeline Basics and Specifics About Natural Gas Pipelines", Pipeline Briefing Paper No. 2 (n.p., 2015).

<sup>19</sup> European Commission, *Fourth Biennial Report from the European Union under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (n.p., 2019).

неорганизованных выбросов из-за утечек из старых распределительных линий и клапанов, соединений и измерительного оборудования.

#### **D. Выбросы, производимые биогазовыми установками**

17. Биогазовые установки, число которых постоянно увеличивается, становятся все более значимым источником выбросов  $\text{CH}_4$ , который в большинстве случаев не указывается отдельно в общей статистике. В кадастре выбросов Германии, по крайней мере, некоторые выбросы из биогазовых установок уже перечислены и отнесены либо к сельскому хозяйству, либо к энергетике, либо к сектору отходов. Однако в этом перечне не указан ряд неконтролируемых выбросов, которые еще не учтены в расчетах. Биогазовые установки обычно напрямую связаны с теплоэлектростанцией, предназначенной для производства электроэнергии и местного теплоснабжения. Благодаря активной политике субсидирования количество биогазовых установок значительно увеличилось в некоторых государствах — членах Европейского союза, например в Германии. С учетом того, что утечки во время ферментации или неполного сжигания в энергетических агрегатах могут вносить значительный вклад в процесс образования выбросов  $\text{CH}_4$  на местном уровне, ниже приводится некоторая дополнительная информация о выбросах  $\text{CH}_4$  из биогазовых установок. Поскольку данные о таких выбросах в литературе встречаются редко, некоторые базовые прогнозы представлены на примере Германии, где биогазовые установки получили широкое распространение и присутствуют в большом количестве благодаря активной политике субсидирования, проводившейся в прошлом.

18. Из-за существующих различий в методах измерения и необязательного характера руководящих принципов сопоставимость результатов измерений в настоящее время оставляет желать лучшего. В будущем гармонизация методов может также позволить повысить точность, воспроизводимость и репрезентативность измерений<sup>20</sup>. Для целей обеспечения сбалансированного учета в качестве примера предполагается, что общий уровень утечки составляет 1 %, что представляется реальной оценкой для нынешнего парка биогазовых установок в Германии<sup>21</sup>.

19. В зависимости от того, каким образом определены границы системы, необходимо также учитывать выбросы  $\text{CH}_4$  при хранении субстрата до его фактического ферментативного расщепления и хранения переваренных остатков или их разбрасывания на сельскохозяйственных землях. С учетом всех этих последних источников эксперты предполагают, что около 5 %  $\text{CH}_4$ , образующегося на биогазовых установках, выбрасывается в атмосферу бесконтрольно.

### **III. Обзор существующих технических мер**

20. В разделе ниже содержится краткий обзор образования свалочного газа и связанных с ним выбросов  $\text{CH}_4$ , а также технических решений для систем сбора и сжигания газа. Затем приводятся информация по некоторым технико-экономическим показателям инвестиционных и эксплуатационных затрат, взятая из специальной литературы.

#### **A. Сокращение выбросов $\text{CH}_4$ с мусорных полигонов**

21. Анаэробное разложение захороненных твердых бытовых отходов является наиболее важным несельскохозяйственным источником антропогенных выбросов  $\text{CH}_4$

<sup>20</sup> Jan Liebetau and others, “Methane emissions from biogas plants: Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced”, IEA Bioenergy Task 37 (n.p., IEA Bioenergy, 2017).

<sup>21</sup> German Environment Agency, “Bioenergie: Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung—Ergebnisbericht zum Workshop vom Juli 2011” (Dessau-Roßlau, 2012) (только на немецком языке).

в мире. Внедрение систем сбора и сжигания газа для выработки тепловой и электрической энергии вкупе со снижением уровня захоронения отходов привели к сокращению годовых выбросов с 1990 года; вместе с тем имеется дальнейший потенциал для снижения выбросов, в частности, за счет систематического внедрения и применения систем сбора и сжигания газа для производства тепла и электроэнергии.

22. Например, принятие Директивы по полигонам захоронения отходов<sup>22</sup> Европейский союз стало мощным инструментом для сокращения объема биоразлагаемых бытовых отходов, вывозимых на свалки. Директива по полигонам захоронения отходов предписывает государствам-членам включать конкретные параметры в разрешение на захоронение отходов. Что касается контроля за свалочным газом и его обработки, то в приложениях к Директиве по полигонам захоронения отходов содержатся следующие требования в отношении снижения выбросов свалочного газа:

а) необходимо принимать соответствующие меры для контроля за накоплением и миграцией свалочного газа;

б) на всех мусорных полигонах, на которые вывозятся биоразлагаемые отходы, а) необходимо обеспечить сбор свалочного газа, подлежащего обработке и использованию. Если собранный газ не может быть использован для производства энергии, его следует сжигать в факелах;

в) сбор, обработка и использование свалочного газа в соответствии должны осуществляться таким образом, чтобы минимизировать ущерб, наносимый окружающей среде, или ухудшение ее состояния и риск для здоровья человека.

23. Для обработки и удаления твердых отходов, что также позволяет сократить выбросы ПГ, разработан широкий спектр технологий. Твердые отходы могут быть рециркулированы, захоронены, сожжены или подвергнуты биологической обработке<sup>23</sup>. Масштабы использования мусорных полигонов сокращаются за счет рециркуляции отходов, минимизации объемов образующихся отходов и применения альтернативных методов их обработки и удаления, таких как компостирование и сжигание отходов<sup>24</sup>. Таким образом, деятельность по сокращению выбросов ПГ, связанных с отходами, опирается на сочетание множества технологий, применение которых зависит от местных, региональных и национальных факторов, способствующих как эффективному управлению отходами, так и сокращению выбросов ПГ<sup>25</sup>.

24. Следует также учитывать, что различные технологии дополняют друг друга в течение всего срока службы мусорного полигона. В целом сбор и энергетическое использование свалочного газа является рекомендуемым вариантом, который следует применять в максимально возможной степени. Однако на начальном этапе эксплуатации полигона в течение определенного периода времени качество и количество газа не будет достаточным для его утилизации. В этот период оператор должен в максимально возможной степени увеличить количество собранного и окисленного  $\text{CH}_4$  до утилизации газа. Когда срок службы полигона подходит к концу и объем образующегося газа сокращается, оператору следует рассмотреть

<sup>22</sup> Директива Совета 1999/31/EC от 26 апреля 1999 года о полигонах для захоронения мусора, *Official Journal of the European Communities*, L 182 (1999), pp. 1–19.

<sup>23</sup> Rafiu Olasunkanmi Yusuf and others, “Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, No. 7 (April 2012), pp. 5059–5070.

<sup>24</sup> Izzet Karakurt, Gokhan Aydin and Kerim Aydin, “Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review”, *Renewable Energy*, vol. 39, No. 1 (2012), pp. 40–48.

<sup>25</sup> Bert Metz and others, eds., *Climate change 2007: Mitigation of climate change – Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge and New York, Cambridge University Press, 2007).



возможность использования различных методов окисления  $\text{CH}_4$  для максимального увеличения количества собранного и окисленного  $\text{CH}_4$ <sup>26</sup>.

25. Ниже приводится краткое описание нескольких основных технологий по сокращению выбросов ПГ на полигонах:

а) **Окисление (биопокрытия и биофильтрация).** Окисление  $\text{CH}_4$  — это процесс, который естественным образом протекает в различных слоях покровной почвы благодаря обилию метанотрофных организмов<sup>27</sup>. Идея использования биофильтрации для удаления  $\text{CH}_4$  основана на том, что некоторые виды бактерий способны разлагать  $\text{CH}_4$  с образованием побочных продуктов окисления, таких как вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{CO}_2$ , соли и биомасса. Все эти продукты гораздо менее вредны для окружающей среды, чем исходный субстрат<sup>28</sup>. Скорость окисления  $\text{CH}_4$  на свалках может варьировать в пределах нескольких порядков величины — от незначительной до 100 % потока  $\text{CH}_4$  в покрытие. Было отмечено, что в контексте высокого потенциала окисления и слабого потока  $\text{CH}_4$  со свалки атмосферный  $\text{CH}_4$  может окисляться на поверхности мусорного полигона. В таких случаях покровные почвы полигона выполняют функцию поглотителя, а не источника атмосферного  $\text{CH}_4$ <sup>29</sup>. Вторичным преимуществом окисления  $\text{CH}_4$  в покровных почвах является совместное окисление многих органических соединений, не содержащих  $\text{CH}_4$ , особенно ароматических и менее хлорированных соединений, что сокращает их выбросы в атмосферу<sup>30</sup>. К технологиям, позволяющим увеличить скорость окисления  $\text{CH}_4$ , относятся использование биопокрытий и биофильтрационных слоев<sup>31</sup>. Биопокрытие — это дополнительное конечное покрытие, которое действует как усилитель окисления  $\text{CH}_4$  для преобразования  $\text{CH}_4$  в  $\text{CO}_2$  перед высвобождением в атмосферу. Биопокрытие состоит из двух субстратных слоев: газодисперсионного слоя и окислительного слоя  $\text{CH}_4$ . Газодисперсионный слой — это дополнительный проницаемый слой гравия, битого стекла или песка под пористой средой слоя метаболизма  $\text{CH}_4$ . Этот слой добавляется для равномерного распределения некаптивированного свалочного газа в среде окисления  $\text{CH}_4$  и для удаления избыточной влаги из газа. Среда для окисления  $\text{CH}_4$  может состоять из почвы, компоста или других пористых сред. Такие среды обычно засеваются метанотрофными бактериями в процессе разложения отходов<sup>32</sup>. Подобно биопокрытиям, биофильтрационные слои предназначены для дальнейшего окисления  $\text{CH}_4$  из пассивно собранного свалочного газа. Перед сбросом в атмосферу или направлением в систему очистки собранный свалочный газ пропускается через емкость с окислителем  $\text{CH}_4$ . Такая технология контроля может применяться только на небольших полигонах или полигонах с пассивными системами сбора газа из-за размера биофильтрационного пласта, необходимого для обработки смеси воздуха и газа.

б) **Аэрация полигонов захоронения отходов.** Аэрация на месте — это технология обеспечения притока окружающего воздуха в тело полигона твердых бытовых отходов для активизации биологических процессов и подавления

<sup>26</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control requirements of the Landfill Directive” (n.p., 2013).

<sup>27</sup> Alireza Majdinasab and Qiuyan Yuan, “Performance of the biotic systems for reducing methane emissions from landfill sites: A review”, *Ecological Engineering*, vol. 104, Part A (July 2017), pp. 116–130.

<sup>28</sup> J. Nikiema, R. Brzezinski and M. Heitz, “Elimination of methane generated from landfills by biofiltration: A review”, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 6 (2007), pp. 261–284.

<sup>29</sup> Metz and others, eds., *Climate change 2007*.

<sup>30</sup> Charlotte Schuetz and others, “Comparative oxidation and net emissions of methane and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils”, *Environmental Science and Technology*, vol. 37, No. 22 (2003), pp. 5150–5158.

<sup>31</sup> US EPA, “Lessons Learned from Natural Gas STAR Partners: Options for Reducing  $\text{CH}_4$  Emissions From Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry” (2006).

<sup>32</sup> US EPA, “Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Landfills” (2011).

образования  $\text{CH}_4$ <sup>33</sup>. Окружающий воздух поступает в тело полигона через систему газовых скважин, что приводит к ускоренной аэробной стабилизации захороненных отходов. Образующийся газ собирается и проходит обработку<sup>34</sup>. Биологическая стабилизация отходов с помощью аэрации на месте позволяет сокращать как текущие выбросы, так и потенциал возникновения выбросов, связанных с отходами<sup>35</sup>. Технология аэрации отходов на полигонах, которая пока не нашла широкого применения, является перспективной технологией для переработки остаточного  $\text{CH}_4$  на полигонах, когда рекуперация энергии становится экономически нецелесообразной<sup>36</sup>. В отсутствие обязательных экологических норм, требующих сбора и сжигания свалочного газа, аэрация отходов применяется на закрытых мусорных полигонах или секциях полигона без предварительного сбора и удаления или утилизации газа. Например, при применении технологии аэрации на месте мусорного полигона, расположенного на севере Германии, позволило сократить выбросы  $\text{CH}_4$  на 83–95 % в условиях строгого контроля. В зависимости от особенностей полигона его аэрация может быть целесообразна на разных этапах эксплуатации. Аэрация на раннем этапе означает утрату возможности получения энергии, но она может быть эффективна для полигонов, на которых использование отходов для выработки энергии нецелесообразно. Более распространена аэрация на позднем этапе, поскольку она позволяет рекуперировать энергию и продолжает сокращать выбросы  $\text{CH}_4$ , когда объем образующегося  $\text{CH}_4$  более не увеличивается и дальнейшие операции<sup>37</sup> уже нерентабельны.

с) **Сбор и утилизация газа.** Когда рассматриваются вопросы экстракции и утилизации газа, которые могут быть также привлекательными с экономической точки зрения благодаря возможности производства тепла и электроэнергии, следует проводить различие между сбором газа и его последующей утилизацией, которая включает сжигание в факелах, производство электроэнергии, прямое использование газа, например, в котлоагрегатах, и дальнейшей утилизацией в качестве топлива или для химического синтеза. Ниже приводится краткое описание всех имеющихся технологических решений:

и) **Сбор газа.** Согласно Директиве о полигонах для захоронения отходов, собранный свалочный газ должен использоваться для производства энергии. Так, Директива Европейского союза о полигонах для захоронения отходов, если оператор считает свалочный газ непригодным для использования на мусорном полигоне, то компетентному органу должно быть продемонстрировано, что на данном конкретном полигоне существуют особые причины, по которым утилизация нецелесообразна<sup>38</sup>. Использование активной системы извлечения свалочного газа с обустройством вертикальных скважин или горизонтальных коллекторов является самостоятельной наиболее эффективной мерой по сокращению выбросов. Интенсивные натурные исследования баланса массы  $\text{CH}_4$  по секциям полигона, проводившиеся с помощью различных методов проектирования и управления, показали, что при использовании слоев верхнего покрытия и эффективных систем извлечения газа по секциям полигона

<sup>33</sup> Xiaoli Chai and others, “The effect of aeration position on the spatial distribution and reduction of pollutants in the landfill stabilization process: A pilot scale study”, *Waste Management and Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, vol. 31, No. 1 (January 2013), pp. 41–49.

<sup>34</sup> K. U. Heyer and others, “Pollutant release and pollutant reduction: Impact of the aeration of landfills”, *Waste Management*, vol. 25, No. 4 (2005), pp. 353–359.

<sup>35</sup> R. Prantl and others, “Changes in carbon and nitrogen pool during in-situ aeration of old landfills under varying conditions”, *Waste Management*, vol. 26, No. 4 (2006), pp. 373–380.

<sup>36</sup> Charlotte Rich, Jan Gronow and Nikolaos Voulvoulis, “The potential for aeration of MSW landfills to accelerate completion”, *Waste Management*, vol. 28, No. 6 (2008), pp. 1039–1048; and M. Ritzkowski and R. Stegmann, “Generating CO(2)-credits through landfill in situ aeration”, *Waste Management*, vol. 30, No. 4 (April 2010), pp. 702–706.

<sup>37</sup> X. F. Lou and J. Nair, “The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions: A review”, *Bioresour. Technology*, vol. 100, No. 16 (August 2009), pp. 3792–3798.

<sup>38</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control”.

показатель рекуперации газа может превышать 90 %<sup>39</sup>. Некоторые мусорные полигоны могут иметь менее эффективные системы или системы только частичного извлечения газа, при этом неорганизованные выбросы из отходов на полигоне происходят как до, так и после обустройства активной системы извлечения газа; таким образом, показатели эффективности рекуперации в течение всего срока службы свалки, согласно оценкам, могут достигать всего лишь 20 %<sup>40</sup>. На закрытых мусорных полигонах эффективность рекуперации, по имеющимся данным, составляет 10–90 %. Для действующих полигонов эффективность варьирует в диапазоне 10–80 %<sup>41</sup>. Что касается активных систем сбора газа, то их эффективность зависит прежде всего от конструкции и особенностей обслуживания системы сбора, а также от типа материалов, используемых для покрытия свалки. Сбор газа с помощью вертикальных скважин и горизонтальных траншей обычно начинается после того, как участок полигона (также называемый секцией) закрывается для захоронения новых отходов и засыпается грунтом. Для сбора газа чаще всего используются вертикальные скважины, однако иногда могут использоваться и горизонтальные траншеи на более глубоких полигонах и в зонах активного заполнения. Собранный газ направляется по боковым трубопроводам в главный коллектор. В идеальном случае система сбора должна быть спроектирована таким образом, чтобы оператор мог контролировать и при необходимости регулировать поток газа. После сбора свалочного  $\text{CH}_4$  он может быть использован различным образом, включая производство электроэнергии, прямое использование газа, производство биометана, питание топливных элементов или компримирование для получения жидкого топлива<sup>42</sup>. Вытяжные скважины обычно представляют собой перфорированные трубы в обсыпке из гравия или другого заполнителя, которые устанавливаются в скважины в теле отходов под поверхностью полигона ТБО. Над поверхностью толщ отходов на дренажной скважине обычно устанавливается устьевая арматура, позволяющая регулировать давление и отбирать пробы свалочного газа. Расположение этих скважин может быть вертикальным или горизонтальным, и выбор между вертикальным и горизонтальным расположением зависит от конкретных особенностей участка<sup>43</sup>. Вертикальные скважины обычно обустраиваются на участках, где на площадку больше не завозятся отходы или где заполнение отходами не будет происходить в течение одного года или более. Однако вертикальные скважины могут буриться и эксплуатироваться и на участках, на которых по-прежнему ведется захоронение отходов, хотя такое захоронение потребует введения более жестких требований в отношении эксплуатации и технического обслуживания. Горизонтальные дренажные скважины могут создаваться и в то время, когда полигон для удаления отходов еще принимает их, и использоваться в тех случаях, когда требуется сбор свалочного газа на территории перед закрытием полигона. Горизонтальные дренажные скважины размещаются в траншее в толще отходов. Траншея засыпается гравием (или другими заполнителями, такими как обрезки шин или битое стекло), а в центре траншеи устанавливается перфорированная труба.

26. Существуют различные технологии утилизации свалочного газа:

а) **Сжигание в факеле.** Сбор и сжигание свалочного газа является частью штатного режима эксплуатации мусорного полигона, независимо от дополнительных систем выработки тепла или электроэнергии. Дебит свалочного газа со временем падает, в результате чего снижается объем получаемого газа и содержание в нем  $\text{CH}_4$ .

<sup>39</sup> K. Spokas and others, “Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?”, *Waste Management*, vol. 26, No. 5 (2006), pp. 516–525.

<sup>40</sup> Hans Oonk, “Efficiency of landfill gas collection for methane emission reduction”, *Greenhouse Gas Measurement and Management*, vol. 2, No. 2–3 (October 2012), pp. 129–145.

<sup>41</sup> Ibid.

<sup>42</sup> Karakurt, Aydin and Aydin, “Sources and mitigation”.

<sup>43</sup> Global Methane Initiative (GMI), “International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects” (n.p., US EPA, 2012).

К примеру, в соответствии с положениями руководства Европейского союза по контролю за свалочным газом, операторы должны придерживаться нижеследующей иерархии методов дегазации в течение всего срока эксплуатации полигона, чтобы обеспечить окисление максимального количества свалочного газа в течение всего жизненного цикла полигона<sup>44</sup>: а) высокотемпературное сжигание в факелах; б) низкотемпературное сжигание на факелах; и с) другие методы окисления  $\text{CH}_4$ . Обычно выделяют два типа факелов: а) открытые факелы (типа «свеча»); и б) закрытые факелы (наземные факелы), эффективность обезвреживания газа в которых при правильном проектировании и эксплуатации может превышать 99 %. Повышение температуры горения и увеличение продолжительности сжигания в факеле приводят к разрушению нежелательных компонентов, таких как несгоревшие углеводороды. Однако существенным недостатком этого типа факельной системы является то, что ее установка и эксплуатация являются более дорогостоящими в сравнении с открытыми факелами<sup>45</sup>.

б) **Утилизация газа.** Производство электроэнергии. Собранный на месте захоронения отходов свалочный газ может использоваться для производства электроэнергии. После экстракции газ обычно подвергается предварительной обработке для удаления жидкостей, серы и силиконов. Если очищенный свалочный газ нужно переработать в биологический  $\text{CH}_4$ , то необходимо также удалить  $\text{CO}_2$ . Поршневые двигатели для комбинированной выработки электричества и тепла могут работать даже тогда, когда свалочный газ содержит до 40 %  $\text{CO}_2$  по объему. Для производства энергии также требуется временное хранилище газа или факельная станция для сжигания избыточного количества образующегося  $\text{CH}_4$ <sup>46</sup>. Ниже перечислены типовые технологии производства электроэнергии из свалочного газа<sup>47</sup>:

i) **Поршневые двигатели внутреннего сгорания.** Это наиболее широко используемая технология преобразования свалочного газа в электроэнергию. Преимущества этой технологии включают в себя низкие капитальные затраты, высокую эффективность, гибкость в отношении содержания  $\text{CH}_4$  и адаптируемость к изменениям в выбросах газа со свалок.

ii) **Газовые турбины на свалочном газе.** Они требуют надежного газоснабжения для эффективной работы и обычно подходят для полигонов, на которых объем образующегося газа позволяет вырабатывать не менее 3 МВт (тепловой энергии). Однако такие небольшие газовые турбины очень чувствительны к загрязнению топливного газа и требуют более специализированного и дорогостоящего технического обслуживания по сравнению с поршневыми агрегатами.

iii) **Микротурбины.** Как правило, они лучше всего подходят для небольших проектов по рекуперации энергии, которые обеспечивают электроэнергией сам мусорный полигон или объект, расположенный в непосредственной близости от него. Мощность одной микротурбины составляет 30–250 кВт, и они оптимально подходят для применения при мощности менее 1 МВт (тепловой энергии). Для микротурбин обычно требуется достаточная очистка свалочного газа, которая предусматривает удаление влаги и других загрязняющих веществ.

с) **Прямое использование газа для производства тепла.** Свалочный газ может также использоваться в качестве топлива для котлоагрегатов или промышленных процессов, таких как сушка, обжиг и производство цемента и асфальта. В этих проектах очищенный и осушенный газ подается по трубопроводу непосредственно к ближайшему потребителю для использования в качестве резервного или дополнительного топлива<sup>48</sup>.

<sup>44</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control”.

<sup>45</sup> GMI, “International Best Practices Guide”.

<sup>46</sup> Karakurt, Aydin and Aydiner, “Sources and mitigation”.

<sup>47</sup> US EPA, “Available and Emerging Technologies”.

<sup>48</sup> Karakurt, Aydin and Aydiner, “Sources and mitigation”.

d) **Другие виды использования (закачка в газовую сеть, топливные элементы).** Свалочный газ может реализовываться для закачки в систему магистральных трубопроводов природного газа, если он соответствует определенным технологическим стандартам и нормам очистки. Эту схему можно использовать в ограниченном числе случаев, например при наличии очень больших объемов газа. Кроме того, свалочный газ может перерабатываться в жидкое топливо для автомобилей для использования в грузовиках, перевозящих мусор на полигон. Топливные элементы — еще одна доступная технология получения энергии из свалочного газа. Преимущество топливных элементов по сравнению с технологиями сжигания заключается в том, что энергоэффективность обычно выше, а побочные продукты сгорания, такие как NO<sub>x</sub>, CO и оксиды серы, не образуются. Если топливные элементы используются для выработки электроэнергии из свалочного CH<sub>4</sub>, то необходима высокоэффективная система очистки газа для обеспечения того, чтобы катализатор в топливном элементе не загрязнялся присутствующими в газе следовыми компонентами. На сегодняшний день высокая чувствительность топливных элементов к загрязнению является существенным препятствием для использования в них свалочного газа.

## **В. Сокращение выбросов CH<sub>4</sub> из сети природного газа**

27. В целом мероприятия по снижению выбросов CH<sub>4</sub> из системы газоснабжения можно отнести к техническим мерам: совершенствование оборудования; организационные и управленческие меры; замена общепринятых методов, например, для технического обслуживания и осмотра или обнаружения утечек. В цепочке поставок на начальном этапе (добыча, переработка и транспортировка) обнаружение утечек часто затруднено, поскольку CH<sub>4</sub> не имеет запаха и цвета. Однако недавно были разработаны методы обнаружения утечек с помощью инфракрасных камер или специальных датчиков, способных сделать видимыми утечки CH<sub>4</sub>, в сочетании с авиационными и беспилотными средствами для мониторинга выбросов на больших расстояниях вдоль магистральных трубопроводов, включая резервуары для хранения и компрессорные станции. Эти методы обнаружения утечек основаны на низкой объемной плотности CH<sub>4</sub> по сравнению с воздухом.

28. Возможные меры по сокращению выбросов перечислены ниже, а наиболее перспективные технические решения (на базе оборудования) описаны в последующих разделах<sup>49</sup>:

a) сокращение эксплуатационных выбросов: применение пневматических и компрессорных систем с низким или нулевым уровнем выбросов с повторным использованием газа вместо его отвода (см. раздел IV ниже):

- i) замена систем масляных уплотнителей центробежных компрессоров (извлечение CH<sub>4</sub> из уплотнительного масла);
- ii) установка пневматических устройств с низким уровнем стравливания;
- iii) рекомпримирование газа при остановке компрессора или трубопровода;

b) сокращение выбросов при техническом обслуживании:

- i) откачка газа с помощью передвижного компрессора из одной секции для закачки в соседнюю секцию;
- ii) сжигание отводимого газа в мобильной факельной установке во время работ по обслуживанию трубопровода;
- iii) использование газа для выработки электроэнергии и тепла для местных нужд, например для газоперерабатывающего оборудования;

<sup>49</sup> Marcogaz, “Potential ways”; and US EPA, “Natural Gas STAR Programme: Recommended Technologies to Reduce Methane Emissions”, URL: [www.epa.gov/natural-gas-star-program/recommended-technologies-reduce-methane-emissions](http://www.epa.gov/natural-gas-star-program/recommended-technologies-reduce-methane-emissions).

с) программы инспекции и технического обслуживания: организационные меры по раннему выявлению выбросов и их устранению — так называемые меры «по обнаружению и устранению утечек»:

- i) оптимизация методов отключения компрессоров;
- ii) сведение к минимуму утечек перед проведением технического обслуживания трубопровода;
- iii) осуществление периодических экономически эффективных проверок на утечку (также при поддержке сенсорных мобильных систем обнаружения утечек).

29. Вышеупомянутые меры, как правило, актуальны для всей цепочки поставок. Однако некоторые технические решения могут быть ограничены конкретной областью применения. Поскольку выбросы  $\text{CH}_4$  вызывают все больший интерес, несколько совместных отраслевых инициатив направлены на углубление понимания масштабов выбросов  $\text{CH}_4$ , их потенциальных источников и возможностей для сокращения выбросов. К наиболее известным из этих инициатив относятся: программа по природному газу СТАР (организованная Агентством по охране окружающей среды (АООС) Соединенных Штатов Америки), Глобальное партнерство Всемирного банка по сокращению сжигания попутного газа в факелах, Глобальная инициатива по метану, Инициатива нефтегазовой промышленности в области климата, Коалиция по руководящим принципам по метану и Коалиция «Климат и чистый воздух» — Партнерство по борьбе с выбросами метана из нефтегазового сектора<sup>50</sup>. В качестве примера можно указать, что программа по природному газу СТАР представляет всеобъемлющий обзор преимущественно технологических мер, осуществляемых путем замены существующего оборудования и оптимизации контроля, технического обслуживания и обнаружения утечек<sup>51</sup>.

30. Рекуперация  $\text{CH}_4$  из уплотнительного масла в компрессорах с мокрым уплотнением и замена пневматических устройств с высоким уровнем стравливания<sup>52</sup> являются наиболее перспективными и экономически эффективными мерами (короткие сроки окупаемости инвестиций, см. следующий раздел). Однако положение с осуществлением этих мер не до конца ясно, хотя их экономическая целесообразность очевидна (например, в Европейском союзе пневматические устройства с высоким уровнем стравливания больше не используются). Как уже говорилось ранее, по всей вероятности, можно добиться значительных улучшений, особенно в восточноевропейских системах транспортировки. Ниже приводится краткое описание обеих технологий (компрессоры с уплотнениями и пневматические устройства с высоким уровнем стравливания), а подробную информацию и фактологические бюллетени можно получить от программы по природному газу СТАР<sup>53</sup>.

31. Использование компрессоров с мокрым уплотнением является распространенной и широко применяемой технологией для компримирования природного газа в магистральных сетях. Компрессоры с мокрым уплотнением служат источником выбросов  $\text{CH}_4$ , растворенного в уплотнительном масле. Перспективным методом сокращения этих выбросов является установка оборудования для улавливания и использования или сжигания газа, который выделяется в процессе дегазации уплотнительного масла. Эта система состоит из двух сепараторов, один из которых работает под высоким давлением, а другой — под низким. Сепаратор высокого давления работает при давлении уплотнительного масла, а поток газа контролируется с помощью сужающего отверстия. Этот рекуперированный под высоким давлением газ затем направляется в каплеуловитель для уплотнительного масла, чтобы удалить остатки уплотнительного масла перед использованием. После этого масло поступает из сепаратора высокого давления в сепаратор атмосферной

<sup>50</sup> Marcogaz, “Potential ways”.

<sup>51</sup> US EPA, “Natural Gas STAR Programme”.

<sup>52</sup> ICF International, “Economic Analysis of Methane Emission Reduction Opportunities in the U.S. Onshore Oil and Natural Gas Industries” (n.p., 2014).

<sup>53</sup> US EPA, “Natural Gas STAR Programme”.

дегазации, где оставшийся в масле газ удаляется и затем высвобождается в атмосферу. Этот объем газа обычно минимален, поскольку большая его часть может быть удалена в сепараторе высокого давления. Регенерированное уплотнительное масло затем может быть возвращено в систему уплотнения компрессора. Эти системы установлены и успешно эксплуатируются на нескольких газокomppressorных станциях. Их использование в качестве технологии очистки загрязняющих веществ является новой сферой применения. Системы рекуперации с помощью дегазации мокрого уплотнения потенциально могут быть установлены на большинстве объектов с центробежными компрессорами с мокрым уплотнением, хотя могут существовать ограничения, связанные с эксплуатационными требованиями конкретного объекта. Для внедрения этой системы требуется использование рекуперированного газа. У операторов есть несколько вариантов оптимального использования газа, и эти варианты будут оказывать экономическое воздействие на проект. Наиболее распространенными решениями являются<sup>54</sup>:

- a) использование в качестве топлива для турбин высокого давления;
- b) использование рекуперированного газа в качестве топлива низкого давления;
- c) возвращение в систему всасывания компрессора;
- d) использование в качестве продувочного газа факельных систем.

32. Помимо компрессоров с мокрым уплотнением, одним из основных источников выбросов  $\text{CH}_4$  во всех звеньях цепочки поставок природного газа<sup>55</sup> являются пневматические регуляторы с высоким уровнем стравливания. Пневматический регулятор — это автоматизированный прибор для поддержания параметров технологического процесса, таких как уровень жидкости, давление, перепад давления или температура. В зависимости от источника питания в настоящем докладе определены два типа пневматических регуляторов:

- a) пневматические регуляторы, работающие на природном газе, в частности регуляторы, работающие на сжатом природном газе;
- b) пневматические регуляторы, работающие не на природном газе, в частности устройства, работающие от других источников энергии помимо сжатого природного газа, таких как электроэнергия, получаемая, например от солнечных панелей и накопителей энергии.

33. В современных установках более не используются пневматические регуляторы, работающие на природном газе. Большинство регуляторов имеют электрическое управление. Во взрывоопасных средах могут использоваться только воздушные пневматические регуляторы, хотя разработаны также и искробезопасные электрические регулирующие устройства. Пневматические регуляторы, работающие на природном газе, бывают различных конструкций и используются в широком спектре областей, при этом для них присущи свои собственные характеристики выбросов:

- a) пневматические регуляторы с непрерывным стравливанием характеризуются постоянным потоком природного газа, пневматически подаваемого в устройство управления процессом (позволяющее осуществлять, например, контроль уровня, температуры, давления), в котором давление подаваемого газа модулируется технологическими условиями, а затем газ поступает в контроллер клапана, где существующее значение (сигнал) сравнивается с заданным технологическим показателем, с тем чтобы отрегулировать давление газа в приводе клапана. Регуляторы с непрерывным стравливанием могут быть далее разделены на два типа в зависимости от скорости стравливания<sup>56</sup>:

<sup>54</sup> ICF International, “Economic Analysis”.

<sup>55</sup> US EPA, “Lessons Learned”.

<sup>56</sup> ICF International, “Economic Analysis”.

- i) низкая скорость стравливания, не превышающая 6 стандартных кубических футов в час (скф/час, 6 скф = 0,17 м<sup>3</sup>);
  - ii) высокая скорость стравливания, превышающая 6 скф/час;
- b) прерывистые пневматические регуляторы — это пневматические регуляторы с непостоянным стравливанием воздуха. Эти пневматические регуляторы, работающие на природном газе, не имеют приспособлений для непрерывного стравливания воздуха, но приводятся в действие с помощью сжатого природного газа;
- c) пневматические регуляторы с нулевым уровнем стравливания — это пневматические регуляторы, которые не выпускают природный газ в атмосферу. Эти пневматические контроллеры, работающие на природном газе, представляют собой автономные устройства, которые выпускают газ не в атмосферу, а в отводящий трубопровод.

34. Помимо замены пневматических устройств с высоким уровнем стравливания или рекуперации CH<sub>4</sub> из компрессоров с мокрым уплотнением, для сокращения выбросов CH<sub>4</sub> крайне важно, в частности, избегать непреднамеренных неорганизованных выбросов. В этом контексте наиболее важным действием является раннее обнаружение утечек. Последние достижения в области сенсорных, аналитических и мобильных технологий позволили создать ряд приспособлений для обнаружения утечек газа, которые работают значительно лучше, чем механизмы, основывающиеся на традиционных методах. Такие устройства могут обнаруживать CH<sub>4</sub> в результате утечки природного газа при концентрации 1 часть на миллиард (10<sup>-9</sup>) или менее и реагировать менее чем за одну секунду. Современные мобильные решения для обнаружения утечек газа используют передовые лазерные датчики, технологию глобальной системы позиционирования и аналитическое программное обеспечение, чтобы повысить скорость и точность идентификации и определения местоположения утечек газа.

35. В дополнение к датчикам мобильному обнаружению утечек может способствовать автоматический анализ видеоинформации с помощью инфракрасных камер и беспилотных летательных аппаратов для охвата более протяженных пространственных зон, например вдоль трубопроводов природного газа. Кроме того, спутниковые снимки, используемые для обнаружения крупных источников выбросов CH<sub>4</sub>, могут благоприятствовать раннему обнаружению неорганизованных выбросов в сети природного газа. Используя данные, полученные со спутника Copernicus Sentinel-5P, Европейское космическое агентство разработало концептуальную систему для отслеживания и установления источников выбросов CH<sub>4</sub> по всему миру<sup>57</sup>.

### **C. Сокращение выбросов CH<sub>4</sub>, производимых биогазовыми установками**

36. Меры по сокращению выбросов CH<sub>4</sub> из биогазовых установок сопоставимы с мерами, применяемыми в отношении системы поставок природного газа. Помимо использования современных технологий, а также, в частности, надлежащей эксплуатации и обслуживания установок, ключевым фактором сокращения выбросов является раннее обнаружение утечек. Однако ввиду того, что производственные объекты являются относительно небольшими и децентрализованными, этот вариант связан с определенными сложностями и раннее обнаружение утечек затруднено.

37. Причины утечек многочисленны, и утечки могут быть обнаружены практически в любом компоненте установки в секциях, содержащих биогаз. Частично эти причины могут быть связаны с устаревшими или недостаточно развитыми технологиями. Кроме того, в некоторых компонентах, например в пленках крышки ферментатора,

<sup>57</sup> European Space Agency, "Mapping methane emissions on a global scale", 4 May 2020, URL: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Mapping\\_methane\\_emissions\\_on\\_a\\_global\\_scale](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Mapping_methane_emissions_on_a_global_scale).



допускаются определенные темпы высвобождения  $\text{CH}_4$ . Например, в Руководстве по безопасности Германской ассоциации страхования ответственности работодателей в сельском хозяйстве в отношении  $\text{CH}_4$  определен порог проницаемости ниже  $1000 \text{ см}^3 \cdot \text{мм} / (\text{м}^2 \cdot \text{д} \cdot \text{бар})^{58}$ . Поэтому выбросы ниже порогового уровня не включаются в статистику.

38. Как ни странно, но процесс комбинированного производства тепла и электроэнергии также является потенциальным источником выбросов  $\text{CH}_4$ . Когда сжигание смесей в двигателе не является полным, может образоваться некоторое количество несгоревшего  $\text{CH}_4$ , что приводит к выделению  $\text{CH}_4$  в выхлопных газах. Количество несгоревшего  $\text{CH}_4$  зависит от типа двигателя и, если применимо, от особенностей нейтрализации отработавших газов, а также от качества газов и условий эксплуатации. Поэтому, несмотря на то, что использование и дальнейшее развитие современных технологий конкретных установок имеет решающее значение, также важно, чтобы такие установки эксплуатировались и обслуживались обученным персоналом.

#### IV. Выводы

39. Наилучшие методы предотвращения выбросов  $\text{CH}_4$  в значительной степени зависят от источника выбросов и особенностей конкретного объекта. В отличие от классических промышленных выбросов, объемы которых в большинстве случаев можно сократить/уменьшить с помощью очистного оборудования в конце производственного цикла или за счет замещения сырьевого материала, выбросы  $\text{CH}_4$  разнообразны и для борьбы с ними требуется широкий спектр различных мер. В настоящем документе описаны наиболее важные методы, касающиеся выбросов со свалок отходов и из сети природного газа.

40. На глобальном уровне доля выбросов свалочного газа находится в том же диапазоне, что и в Европе. На свалках  $\text{CH}_4$  образуется в результате анаэробного разложения углеводородных отходов. Сокращение количества отходов, размещаемых на свалках, является наиболее важной мерой для предотвращения/сокращения таких выбросов и может быть достигнуто путем компостирования биоразлагаемых отходов, их более эффективного разделения и вторичной переработки или сжигания небологических углеводородных отходов (например, для комбинированного производства тепла и электроэнергии). Для сокращения выбросов  $\text{CH}_4$  с действующих мусорных полигонов наиболее подходящими технологиями являются (см. пункт 25 выше):

- a) сбор и утилизация газа;
- b) окисление  $\text{CH}_4$  в биопокровках или посредством биофильтрации на основе метанотрофных организмов (бактерий), которые преобразуют  $\text{CH}_4$  в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- c) аэрация отходов на полигонах для предотвращения анаэробного разложения и для активизации биологических процессов, препятствующих образованию  $\text{CH}_4$ .

41. Сеть производства и распределения природного газа является еще одним важным источником выбросов  $\text{CH}_4$ . Поскольку технологии добычи, степень компримирования и нормы давления частично отражают региональные различия, не все перечисленные ниже технологии в равной степени применимы ко всем странам. Кроме того, следует проводить общее различие между производством, передачей и распределением газа среди конечных потребителей, поскольку, например, с точки зрения Европейского союза процессы производства и передачи газа в основном протекают за пределами Европейского союза (Российская Федерация выступает в качестве одного из важнейших поставщиков природного газа). В целом эти меры можно разделить на категории технических мер, осуществляемых за счет замены

<sup>58</sup> Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, "Sicherheitsregeln für Biogasanlagen: Technische Information 4" (n.p., 2016) (только на немецком языке).

существующего оборудования, и организационных или управленческих мер, проводимых путем изменения общепринятой практики, например в области технического обслуживания и инспекции. В конечном итоге в настоящем документе в качестве наиболее актуальных были определены следующие меры (см. пункт 28 выше):

а) сокращение эксплуатационных выбросов за счет применения пневматических и компрессорных систем с низким или нулевым уровнем выбросов с повторным использованием газа вместо его отвода;

б) сокращение выбросов при техническом обслуживании за счет исключения вентиляции;

с) проведение программ инспекции и технического обслуживания для раннего выявления утечек и неорганизованных выбросов.

42. Биогазовые установки также стали источниками выбросов  $\text{CH}_4$ , возникающих на нескольких технологических этапах и во множестве технических функциональных блоках. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут способствовать увеличению объемов  $\text{CH}_4$ , практически пригодных для применения, и таким образом более эффективно реализовать существующий теоретический потенциал сокращения выбросов.

43. Более подробная информация о вышеупомянутых технологиях борьбы с выбросами, включая иллюстративные рисунки и таблицы, включена в неофициальный справочный технический документ по методам сокращения выбросов  $\text{CH}_4$  в Европе на мусорных полигонах в результате выделения свалочных газов и из систем поставок природного газа и биогазовых установок, который был представлен Целевой группой по технико-экономическим вопросам Рабочей группе по стратегиям и обзору на ее пятьдесят восьмой сессии (Женева, 14–17 декабря 2020 года)<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> URL:

[https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/TFTEI\\_methane\\_background\\_document-december\\_2020.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/TFTEI_methane_background_document-december_2020.pdf).