

**Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции  
о трансграничном загрязнении воздуха  
на большие расстояния

**Рабочая группа по стратегиям и обзору****Шестьдесят первая сессия**

Женева, 4–6 сентября 2023 года

Пункт 2 предварительной повестки дня

Ход осуществления плана работы на 2022–2023 годы

**Проект руководящего документа по техническим мерам  
по сокращению выбросов метана со свалок и из сети  
природного газа и биогазовых установок***Резюме*

Настоящий документ представлен Целевой группой по технико-экономическим вопросам для рассмотрения Рабочей группой по стратегиям и обзору. 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. Этот документ был подготовлен Целевой группой в соответствии с ее пересмотренным мандатом<sup>a</sup>. Как ожидается, окончательный проект руководящего документа будет передан Рабочей группой Исполнительному органу для принятия на его сорок третьей сессии (Женева, 11–14 декабря 2023 года).

<sup>a</sup> Решение Исполнительного органа 2018/7, приложение, п. 2 b).  
URL: <https://unece.org/decisions>.



## I. Введение

1. Настоящий проект руководящего документа по мерам по сокращению выбросов метана (CH<sub>4</sub>), разработанный Целевой группой по технико-экономическим вопросам, имеет своей целью оказать поддержку Сторонам в сокращении выбросов CH<sub>4</sub> из основных несельскохозяйственных источников. Руководящий документ охватывает выбросы CH<sub>4</sub>, 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 CH<sub>4</sub> 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 CH<sub>4</sub> из биогазовых установок, которые также считаются важным источником выбросов CH<sub>4</sub>, возникающих в ходе их технического применения.

2. Антропогенные выбросы CH<sub>4</sub> стали новой областью интересов в отношении мер по сокращению выбросов, поскольку CH<sub>4</sub> является как важным парниковым газом (ПГ), так и прекурсором приземного озона. Поэтому уменьшение выбросов CH<sub>4</sub> считается мерой, представляющей интерес как для политики в области изменения климата, так и для политики по борьбе с загрязнением воздуха.

3. Ввиду разнообразия выбросов CH<sub>4</sub> из различных источников и отраслей промышленности меры по сокращению выбросов CH<sub>4</sub> многообразны и не могут быть сведены к упрощенному набору технических мер. Во многих случаях, например, 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 подкрепляться современными технологиями использования мобильных датчиков, как это описано в разделе III.B ниже.

4. В представленном ниже обобщении изложены основные вопросы, касающиеся загрязняющих выбросов метана (CH<sub>4</sub>) в атмосферу в увязке с потенциалом глобального потепления (ПГП) CH<sub>4</sub> и сокращением 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. Справочная информация

### A. Выбросы метана

5. CH<sub>4</sub> считается вторым по величине источником выбросов ПГ после диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), который рассматривается в качестве самого важного ПГ. На долю CH<sub>4</sub> приходится около 19 % общих глобальных выбросов ПГ<sup>1</sup>. Это обусловлено не уровнями выбросов из одного источника, а главным образом значительно более высоким потенциалом глобального потепления (ПГП), установленного для CH<sub>4</sub>, по

<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).

сравнению с CO<sub>2</sub>. По доли в общем антропогенном радиационном воздействии CH<sub>4</sub> занимает второе место, при этом размер его воздействия эквивалентен 58 % радиационного воздействия CO<sub>2</sub><sup>2</sup>. Потенциал глобального потепления CH<sub>4</sub> примерно в 28 раз выше, чем ПГП CO<sub>2</sub> в 100-летнем временном масштабе<sup>3</sup>. Хотя с CH<sub>4</sub> связан очень высокий радиационный форсинг, время жизни CH<sub>4</sub> в атмосфере относительно невелико (около 12 лет): это означает, что нынешние выбросы CH<sub>4</sub> будут влиять на климат в течение чуть более десяти лет. В краткосрочной же перспективе (ближайшие 20 лет) ПГП CH<sub>4</sub> более чем в 80 раз превышает ПГП CO<sub>2</sub>.

6. В дополнение к важности сокращения выбросов CH<sub>4</sub> для предотвращения изменения климата следует отметить, что CH<sub>4</sub> является прекурсором приземного озона. Поэтому выбросы CH<sub>4</sub> также имеют огромное значение с точки зрения загрязнения воздуха и воздействия на здоровье человека. В этой связи CH<sub>4</sub> необходимо рассматривать и как ПГ, и как загрязнитель воздуха<sup>4</sup>.

7. Согласно базовым оценкам, около 40 % глобальных выбросов CH<sub>4</sub> приходится на долю биогенных (природных) источников, таких как водно-болотные угодья, а остальные 60 % — антропогенных источников<sup>5</sup>. Концентрация CH<sub>4</sub> в атмосфере утроилась с начала индустриализации в 1750 году<sup>6</sup>. Рост выбросов CH<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 CH<sub>4</sub>.

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

9. С 1990 года в Европейском союзе предпринимаются действия по сокращению выбросов CH<sub>4</sub>, которые в сочетании с введением структурных мер привели к снижению выбросов CH<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 CH<sub>4</sub> в Европе. Существует дополнительный потенциал для сокращения выбросов CH<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 CH<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>2</sup> M. Saunio and others, “The growing role of methane in anthropogenic climate change”, *Environmental Research Letters*, vol. 11, No. 12 (2016).

<sup>3</sup> Shushi Peng and others, “Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2010”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 16, No. 22 (2016), pp. 14545–14562.

<sup>4</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>5</sup> International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2017* (n.p., 2017).

<sup>6</sup> Peng and others, “Inventory of anthropogenic methane emissions”.

<sup>7</sup> EEA, “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017”.

## В. Основные несельскохозяйственные источники

### Свалочные газы

10. 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>8</sup>. Размер прямых выбросов в секторе городских отходов практически удвоился за период 1970–2010 годов. 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>9</sup>. В Европейском союзе в последние годы доля отходов, размещаемых на свалках, постоянно снижалась и в настоящее время составляет около 15 %<sup>10</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>11</sup>, и, несмотря на отсутствие современных 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>12</sup>.

11. 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>13</sup>.

12. Свалочный газ образуется в рамках четырехэтапного процесса. Сначала в аэробных условиях образуется  $\text{CO}_2$ . Затем кислород ( $\text{O}_2$ ) истощается, и  $\text{CO}_2$  и водород ( $\text{H}_2$ ) вырабатываются в анаэробных условиях. В дальнейшем выработка  $\text{CO}_2$  истощается 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.

13. Рекуперация  $\text{CH}_4$  на тех или иных объектах (также называемая «эффективностью улавливания») зависит от типа мусорного полигона и варьируется от 10 % для открытых свалок до 75 % для базовых полигонов и 85 % для специально оборудованных полигонов захоронения отходов<sup>14</sup>. Однако на некоторых успешно

<sup>8</sup> United States Environmental Protection Agency (US EPA), “Global Anthropogenic Non- $\text{CO}_2$  Greenhouse Gas Emissions: 1990–2020” (Washington, D.C., 2006).

<sup>9</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>10</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>11</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>12</sup> См. определение термина «свалочный газ» в работе 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”; и Nikolas Themelis and Athanasios Bourtsalas, “UK waste management: Growing old or growing clean”, *Waste Management World*, 5 June 2013.

<sup>13</sup> Buendia and others, *2019 Refinement*.

<sup>14</sup> *ibid.*

спроектированных и эксплуатируемых полигонах, размер окончательного покрытия которых достигал 95 %, была отмечена значительно более высокая эффективность его улавливания<sup>15</sup>. 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**

14. Ввиду сравнительно небольших объемов добычи природного газа в 28 странах — членах Европейского союза доля выбросов в них составляет всего около 5 % от общего объема выбросов<sup>16</sup>. Однако следует отметить, что основная доля поставок природного газа в Европу приходится на Российскую Федерацию (в последнее время их размер снижается), Норвегию и Северную Африку; кроме того, растет импорт сжиженного природного газа из различных регионов, включая Северную Америку, и основные объемы выбросов образуются в процессе добычи, переработки и транспортировки газа.

15. Ниже приводится краткое описание различных технологических этапов сбора, сжатия, транспортировки и распределения газа. Существует множество источников выбросов CH<sub>4</sub> по всей цепочке поставок газа. Такие выбросы относятся к категориям «неорганизованных» или же «вентилируемых» выбросов<sup>17</sup>:

а) неорганизованные выбросы возникают при непреднамеренной «утечке» CH<sub>4</sub> из оборудования, например при неправильной работе фланцев или клапанов. Кроме того, утечки в трубопроводах или резервуарах обычно являются причиной возникновения неорганизованные выбросов;

б) вентилируемые выбросы возникают, когда CH<sub>4</sub> высвобождается ввиду особенностей конструкции оборудования или при осуществлении рабочих процедур, таких как прокачка пневматических устройств, продувка, неполное сгорание или вентиляция оборудования. Вентиляционные выбросы могут считаться регулярными или нерегулярными.

16. Сеть поставок природного газа состоит из основных 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, требуются высокие значения давления, которые создаются на соответствующих компрессорных станциях, установленных вдоль линий его передачи. Крупные потребители, такие как электростанции, иногда напрямую подключаются к газопроводам. Однако большая часть природного газа передается от газопроводов к «городским воротам». Городские ворота — это место, где система передачи газа вливается в распределительную систему более низкого давления, которая доставляет природный газ непосредственно к потребителям (домам и предприятиям). В городских воротах давление газа снижается и обычно в газ добавляется одорант (как правило, меркаптан), позволяющий обнаружить утечки по характерному запаху. В некоторых странах, например в Испании и Франции, одорант добавляется непосредственно в газопровод. В то время как магистральные трубопроводы могут работать при давлении более 70 бар (1000 фунтов на квадратный дюйм (фкд)), распределительные системы действуют при гораздо более низких значениях давления (1,5–10 бар)<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> Themelis and Bourtsalas, “UK Waste Management”.

<sup>16</sup> EEA, “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017”.

<sup>17</sup> Alberta Energy Regulator, “Directive 060: Upstream Petroleum Industry Flaring, Incinerating, and Venting” (n.p., 2018).

<sup>18</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.).

17. Ниже перечисляются и кратко описываются основные источники выбросов и связанные с ними процессы по всей сети газоснабжения<sup>19</sup>:

а) **Добыча.** Сырой газ (включая  $\text{CH}_4$ ) выпускается на различных этапах процесса добычи. Газ может быть выпущен, когда скважина «завершена» на начальном этапе добычи. Поскольку газовые скважины часто находятся в удаленных районах, не имеющих источников электроснабжения, давление газа используется для регулирования и питания 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 вентилируемых 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>20</sup>;

б) **Переработка.** Хотя в некоторых случаях газ достаточно чист для использования в натуральном виде, большая часть газа сначала транспортируется по трубопроводу от устья скважины до газоперерабатывающего завода. Система сбора оснащена пневматическими устройствами и компрессорами для отвода газа, а также потенциальных 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 сжатия и передачи. Такие заводы являются еще одним источником неорганизованных и вентилируемых выбросов. С газоперерабатывающего завода природный газ транспортируется, как правило, на большие расстояния по межгосударственному трубопроводу до узла «городских ворот», а затем до конечного потребителя. Подавляющее большинство компрессоров, используемых для нагнетания давления в трубопроводе, необходимого для транспортировки газа, работают на природном газе, хотя небольшая часть компрессоров имеет электрическое питание. Компрессоры являются источником выбросов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , возникающих в результате сгорания топлива, а также источником неорганизованных и вентилируемых выбросов  $\text{CH}_4$ , образующихся в связи с утечками в уплотнениях, клапанах и соединениях компрессоров и вследствие вентилиации во время их эксплуатации и технического обслуживания;

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

г) **Городские ворота и распределительная линия.** Распределительные линии обычно требуют меньшей мощности сжатия, в том числе из-за более низкого необходимого давления. Тем не менее сжатие необходимо, и оно вызывает вентилируемые выбросы. Дальнейшие выбросы  $\text{CH}_4$  происходят в виде

<sup>19</sup> Pipeline Safety Trust, “Pipeline Basics and Specifics About Natural Gas Pipelines”, Pipeline Briefing Paper No. 2 (n.p., 2015).

<sup>20</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 из биогазовых установок**

18. 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 списке не указан ряд неконтролируемых выбросов, которые еще не учтены в расчетах. Поэтому кадастр выбросов непригоден для расчета мощности эффекта, создаваемого выбросами ПГ при производстве биогаза в целом. Это можно сделать только с помощью балансов отдельных парниковых газов. Биогазовые установки обычно напрямую связаны с теплоэлектростанцией, предназначенной для производства электроэнергии и местного теплоснабжения. Благодаря широкой политике субсидирования количество биогазовых установок значительно увеличилось в некоторых государствах — членах Европейского союза, например в Германии. Выбросы из биогазовых установок нельзя напрямую отнести к классическим сельскохозяйственным выбросам, но они могут иметь технологическое происхождение и поэтому также кратко рассматриваются в настоящем докладе. 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 имеются в большом количестве благодаря активной политике субсидирования, проводившейся в прошлом.

19. Из-за различий, существующих в методах измерения, и необязательного характера руководящих принципов сопоставимость результатов измерений в настоящее время ограничена. В будущем гармонизация методов может также позволить повысить точность, воспроизводимость и репрезентативность измеряемых значений<sup>21</sup>. Для целей обеспечения сбалансированного учета предполагается, что общий уровень утечки составляет 1 % в качестве правдоподобной оценки для нынешнего парка биогазовых установок в Германии<sup>22</sup>.

20. 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**

21. В нижеследующем разделе 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 некоторые основанные на литературных данных технико-экономические показатели инвестиционных и эксплуатационных затрат.

<sup>21</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>22</sup> German Environment Agency, “Bioenergie: Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung—Ergebnisbericht zum Workshop vom Juli 2011” (Dessau-Roßlau, 2012) (German only).

## A. Сокращение выбросов CH<sub>4</sub> со свалок

22. Анаэробное разложение захороненных твердых бытовых отходов является наиболее важным несельскохозяйственным источником антропогенных выбросов CH<sub>4</sub> в Европе. Использование систем сбора и сжигания газа для производства тепла и электроэнергии в сочетании с уменьшением доли свалочных отходов привело к сокращению годовых выбросов с 1990 года; однако существует дополнительный потенциал для сокращения выбросов, особенно за счет систематического внедрения и применения систем сбора и сжигания газа для производства тепла и электроэнергии.

23. С принятием Директивы о свалках<sup>23</sup> Европейский союз создал мощный инструмент для сокращения объема биоразлагаемых бытовых отходов, размещаемых на свалках<sup>24</sup>. Директива о свалках предписывает государствам-членам включать конкретные аспекты этой тематики в разрешение на захоронение отходов. Что касается контроля за свалочным газом и его обработки, то в приложении I к Директиве о свалках содержатся следующие спецификации:

4) Контроль за газом:

4.1) следует принимать соответствующие меры для контроля за накоплением и миграцией свалочного газа (приложение III);

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

4.3) сбор, обработка и использование свалочного газа в соответствии с пунктом 4.2 должны осуществляться таким образом, чтобы минимизировать ущерб, наносимый окружающей среде, или ухудшение ее состояния и риск для здоровья человека.

24. Для обработки и удаления твердых отходов и сокращения выбросов ПГ разработан широкий спектр технологий. Твердые отходы могут быть рециркулированы, захоронены, сожжены или подвергнуты биологической обработке<sup>25</sup>. Масштабы использования свалок сокращаются за счет рециркуляции отходов, минимизации объемов образующихся отходов и применения альтернативных методов их обработки и удаления, таких как компостирование и сжигание отходов<sup>26</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>27</sup>.

25. 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 использования полигона качество и количество газа не будет достаточным для его утилизации в течение определенного периода времени. В этот период оператор должен в максимально возможной степени увеличить количество собранного и окисленного CH<sub>4</sub> до утилизации газа. Когда срок службы полигона подходит к концу и объем

<sup>23</sup> Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, *Official Journal of the European Communities*, L 182 (1999), pp. 1–19.

<sup>24</sup> *ibid.*

<sup>25</sup> Rafiu Olankanmi 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>26</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>27</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).



образующегося газа сокращается, оператору следует рассмотреть возможность использования различных методов окисления  $\text{CH}_4$  для максимального увеличения количества собранного и окисленного  $\text{CH}_4$ <sup>28</sup>.

26. Ниже приводится краткое описание нескольких основных технологий по сокращению выбросов ПГ со свалок:

а) **Окисление (биопокрытия и биофльтрация).** Окисление  $\text{CH}_4$  — это процесс, который естественным образом протекает через различные слои покровной почвы благодаря обилию метанотрофных организмов<sup>29</sup>. Идея использования биофльтрации 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>30</sup>. Скорость окисления  $\text{CH}_4$  на свалках может варьироваться 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>31</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>32</sup>. Технологии, подходящие для увеличения скорости окисления  $\text{CH}_4$ , включают в себя использование биопокрытий и биофльтрационных пластов<sup>33</sup>. Биопокрытие — это дополнительное окончательное покрытие, которое функционирует как усилитель окисления  $\text{CH}_4$  для преобразования  $\text{CH}_4$  в  $\text{CO}_2$  перед выбросом в атмосферу. Биопокрытие состоит из двух слоев подложки: газодисперсионного слоя и слоя окисления  $\text{CH}_4$ . 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 некаптированного 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>34</sup>. Подобно биопокрытиям, биофльтрационные пласты предназначены для дальнейшего окисления  $\text{CH}_4$  из пассивно собранного свалочного газа (СГ). Собраный СГ пропускается через емкость, содержащую среду, окисляющую  $\text{CH}_4$ , перед выпуском в атмосферу или в систему контроля. Такая технология контроля осуществима только для небольших свалок или свалок с пассивными системами сбора газа из-за размера биофльтрационного пласта, необходимого для обработки смеси воздуха и газа;

<sup>28</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control requirements of the Landfill Directive” (n.p., 2013).

<sup>29</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>30</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>31</sup> Metz and others, eds., *Climate change 2007*.

<sup>32</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>33</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>34</sup> US EPA, “Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Landfills” (2011).

b) **Аэрация на свалках.** Аэрация на месте — это технология, в соответствии с которой окружающий воздух подается на свалки твердых бытовых отходов для активизации биологических процессов и подавления образования  $\text{CH}_4$ <sup>35</sup>. Окружающий воздух поступает на свалку через систему газовых скважин, что приводит к ускоренной аэробной стабилизации сброшенных отходов. Образующийся газ собирается и обрабатывается<sup>36</sup>. Биологическая стабилизация отходов с помощью аэрации на месте позволяет сокращать как текущие выбросы, так и потенциал возникновения выбросов, связанных с отходами<sup>37</sup>. Аэрация на свалках, которая пока не нашла широкого применения, является перспективной технологией для переработки остаточного  $\text{CH}_4$  на свалках, когда рекуперация энергии становится экономически непривлекательной<sup>38</sup>. В отсутствие обязательных экологических норм, требующих сбора и сжигания свалочного газа, аэрация на свалках может применяться на закрытых мусорных полигонах или в ячейках свалки отходов без предварительного сбора и удаления или утилизации газа. Например, в случае аэрируемой на месте свалки, расположенной на севере Германии, ее аэрация позволила добиться сокращения выбросов  $\text{CH}_4$  на 83–95 % в условиях строгого контроля. В зависимости от особенностей свалки ее аэрация может быть целесообразна на разных этапах ее эксплуатации. Ранняя аэрация означает потерю возможности получения энергии, но она может быть пригодна для свалок, на которых использование отходов для выработки энергии нецелесообразно. Более распространена поздняя аэрация, поскольку она позволяет рекуперировать энергию и продолжает сокращать выбросы  $\text{CH}_4$ , когда объем образующегося  $\text{CH}_4$  перестает расти и дальнейшие операции<sup>39</sup> уже нерентабельны;

c) **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 вариантов:

i) **Сбор газа.** Согласно Директиве о свалках, из собранного свалочного газа должна извлекаться энергия. Если оператор считает свалочный газ непригодным для использования на мусорном полигоне, то компетентному органу должно быть продемонстрировано, что на данном конкретном полигоне существуют специфические причины, по которым утилизация нецелесообразна<sup>40</sup>. Внедрение активной системы извлечения свалочного газа с использованием вертикальных скважин или горизонтальных коллекторов является единственной наиболее важной мерой по сокращению выбросов. Интенсивные полевые исследования баланса массы  $\text{CH}_4$  в ячейках свалки, проводившиеся с помощью различных методов проектирования и управления, показали, что при использовании окончательных покрытий и эффективных систем извлечения газа в ячейках может быть достигнут показатель

<sup>35</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>36</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>37</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>38</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>39</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>40</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control”.

рекуперации газа в размере более 90 %<sup>41</sup>. Некоторые мусорные полигоны могут иметь менее эффективные или только частичные системы извлечения газа с неорганизованными выбросами из свалочных отходов до и после внедрения активной схемы извлечения газа; таким образом, показатели эффективности рекуперации в течение всего срока службы свалки, согласно оценкам, могут достигать всего лишь 20 %<sup>42</sup>. В случае закрытых мусорных полигонов эффективность рекуперации, по имеющимся данным, составляет 10–90 %. Для действующих полигонов эффективность составляет 10–80 %<sup>43</sup>. Что касается активных систем сбора газа, то эффективность сбора зависит в первую очередь 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 ячейкой) закрывается для новых отходов и засыпается грунтом. Для сбора газа чаще всего используются вертикальные скважины, в то время как траншеи иногда применяются на более глубоких свалках и могут использоваться 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 CH<sub>4</sub> он может быть использован различным образом, включая производство электроэнергии, прямое использование газа, производство биометана, питание топливных элементов или сжатие до жидкого топлива<sup>44</sup>. Вытяжные скважины обычно состоят из щелевых пластиковых труб, окруженных камнем или другим наполнителем, которые устанавливаются в отверстия в массиве отходов ниже поверхности свалки твердых отходов. Над поверхностью массива отходов вытяжная скважина обычно имеет устье, позволяющее регулировать вакуум и отбирать пробы СГ. Расположение этих скважин может быть вертикальным или горизонтальным, и выбор между вертикальными и горизонтальными скважинами зависит от конкретных факторов участка<sup>45</sup>. Вертикальные скважины обычно устанавливаются на участках, где на площадку больше не поступают отходы или где заполнение отходами не будет происходить в течение одного года или более. Однако вертикальные скважины могут устанавливаться и эксплуатироваться на участках, на которых по-прежнему размещаются отходы, хотя такое размещение приведет к введению более жестких требований в отношении эксплуатации и технического обслуживания. Горизонтальные вытяжные скважины могут устанавливаться 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 свалки. Горизонтальные вытяжные скважины помещаются в траншею внутри отходов. Траншея засыпается гравием (или другими наполнителями, такими как обрезки шин или битое стекло), а перфорированная труба устанавливается в центре траншеи;

ii) **Утилизация газа.** В зависимости от конкретных условий на объекте могут использоваться различные варианты утилизации свалочных газов. Наиболее актуальные из них перечислены ниже:

a) **Сжигание в факелах.** Сбор и сжигание свалочного газа является частью нормального режима эксплуатации мусорного полигона, независимо от дополнительных систем выработки тепла или электроэнергии. Скорость образования свалочного газа со временем снижается, в результате чего формируются меньшие

<sup>41</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>42</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>43</sup> *ibid.*

<sup>44</sup> Karakurt, Aydin and Aydin, "Sources and mitigation".

<sup>45</sup> Global Methane Initiative (GMI), "International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects" (n.p., US EPA, 2012).

объемы газа с низким содержанием  $\text{CH}_4$ . Согласно руководству Европейского союза по контролю за свалочным газом, операторы должны придерживаться нижеследующей иерархии методов обработки в течение всего срока эксплуатации полигона, чтобы обеспечить окисление максимального количества свалочного газа в течение всего жизненного цикла полигона<sup>46</sup>: а) высокотемпературное сжигание в факелах; б) низкокалорийное сжигание в факелах; и с) другие методы окисления  $\text{CH}_4$ . Как правило, используются два типа факелов: а) открытые факельные установки (факелы-свечи); и б) закрытые факельные установки (наземные факелы), которые при правильном проектировании и эксплуатации могут обеспечивать эффективность удаления в размере 99 % и более. Повышение температуры сгорания 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 по сравнению с открытыми факелами<sup>47</sup>;

б) **Производство электроэнергии.** Свалочный газ, собранный на месте захоронения отходов, может быть использован для производства электроэнергии. После откачки газ обычно подвергается предварительной обработке для удаления жидкостей, серы и силоксанов. Если очищенный свалочный газ подлежит переработке в биологический  $\text{CH}_4$ , то необходимо также удалить  $\text{CO}_2$ . Поршневые двигатели для совместной 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>48</sup>. Ниже перечислены типичные технологии производства электроэнергии из свалочного газа (СГ)<sup>49</sup>:

i) **Поршневые двигатели внутреннего сгорания.** Это наиболее широко используемая технология преобразования СГ 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, работающие на СГ.** Они требуют надежного газоснабжения для эффективной работы и обычно подходят для свалок, 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 двигателями;

iii) **Микротурбины.** Как правило, они наиболее пригодны для небольших проектов по рекуперации энергии, которые обеспечивают электроэнергией мусорный полигон или участок, расположенный в непосредственной близости от него. Мощность одиночных микротурбин составляет 30–250 кВт, и они наиболее подходят для применения при мощности менее 1 МВт (тепловой энергии). Для микротурбин обычно требуется достаточная обработка СГ, 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 направляется по трубопроводу непосредственно к ближайшему потребителю для использования в качестве запасного или дополнительного топлива<sup>50</sup>;

<sup>46</sup> European Commission, “Guidance on the landfill gas control”.

<sup>47</sup> GMI, “International Best Practices Guide”.

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

<sup>49</sup> US EPA, “Available and Emerging Technologies”.

<sup>50</sup> Karakurt, Aydin and Aydiner, “Sources and mitigation”.

d) **Другие виды использования (закачка в газовую сеть, топливные элементы).** Свалочный газ может быть продан в систему магистральных трубопроводов природного газа, если он соответствует определенным технологическим стандартам и нормам обработки. Этот вариант можно использовать в ограниченном числе случаев, например при наличии очень больших объемов газа. Кроме того, свалочный газ перерабатывается в жидкое топливо для автомобилей для использования в грузовиках, перевозящих мусор на свалку. 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 следовыми компонентами, присутствующими в газе. 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 меры по сокращению выбросов CH<sub>4</sub> из системы поставок природного газа можно классифицировать как технические меры: меры по совершенствованию оборудования; организационные или управленческие меры; меры по замене общепринятой практики, например для технического обслуживания и инспекции 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. Потенциальные меры по сокращению выбросов перечислены ниже, а наиболее перспективные технические решения (на базе оборудования) описаны в последующих разделах<sup>51</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 масляного уплотнения центробежных компрессоров (извлечение CH<sub>4</sub> из уплотнительного масла);
- ii) установка пневматических устройств с низким уровнем стравливания;
- iii) использование рекомпрессии газа при остановке компрессора или трубопровода;

b) Сокращение выбросов при техническом обслуживании:

- i) использование передвижного компрессора для откачки газа из какой-либо одной секции для выпуска в соседнюю секцию;
- ii) использование мобильной факельной установки для сжигания отводимого газа во время работ по обслуживанию трубопровода;

<sup>51</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).

- iii) использование газа для выработки электроэнергии и тепла для местных нужд, например для газоперерабатывающего оборудования;
- с) Программы инспекции и технического обслуживания: организационные меры по раннему выявлению выбросов и их прекращению, также называемые как меры по «обнаружению и устранению утечек»:
  - i) оптимизация методов отключения компрессоров;
  - ii) сведение к минимуму вентиляции перед проведением технического обслуживания трубопровода;
  - iii) осуществление периодических экономически эффективных проверок утечек (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>52</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 проверок, технического обслуживания и обнаружения утечек<sup>53</sup>.

30. Рекуперация  $\text{CH}_4$  из уплотнительного масла в компрессорах с мокрым уплотнением и замена пневматических устройств с высоким уровнем стравливания<sup>54</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 обсуждалось ранее, можно, по всей вероятности, добиться значительных улучшений, особенно в отношении восточноевропейских систем 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>55</sup>.

31. Использование компрессоров с мокрым уплотнением является распространенной и широко применяемой технологией для сжатия природного газа в магистральных сетях. Компрессоры с мокрым уплотнением вызывают выбросы  $\text{CH}_4$ , растворенного в уплотнительном масле. Перспективным вариантом 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 находится под высоким давлением, а другой — под более низким. Сепаратор высокого давления работает при давлении уплотнительного масла, а поток газа контролируется с помощью критической диафрагмы. Этот рекуперированный под высоким давлением газ затем направляется в каплеуловитель для уплотнительного масла, чтобы удалить остатки

<sup>52</sup> Marcogaz, “Potential ways”.

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

<sup>54</sup> ICF International, “Economic Analysis of Methane Emission Reduction Opportunities in the U.S. Onshore Oil and Natural Gas Industries” (n.p., 2014).

<sup>55</sup> US EPA, “Natural Gas STAR Programme”.

уплотнительного масла перед использованием. После этого масло поступает из сепаратора высокого давления в сепаратор атмосферной дегазации, где оставшийся унесенный газ удаляется и затем выбрасывается в атмосферу. Этот объем газа обычно минимален, поскольку большая часть газа может быть удалена в сепараторе высокого давления. Регенерированное уплотнительное масло затем может быть возвращено в систему уплотнительного масла компрессора. Эти системы установлены и успешно эксплуатируются на нескольких газокomppressorных станциях. Их использование в качестве технологии удаления 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 наилучшего использования газа, и эти варианты будут оказывать экономическое воздействие на проект. Наиболее распространенными вариантами являются<sup>56</sup>:

- a) использование в качестве турбинного топлива высокого давления;
- b) использование рекуперированного газа в качестве топлива низкого давления;
- c) направление в систему всасывания компрессора;
- d) использование в качестве выметающего 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>57</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 источников энергии, отличных от сжатого природного газа, таких как электроэнергия, получаемая, например, от солнечных панелей и систем хранения энергии.

33. В современных установках больше 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

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

<sup>57</sup> US EPA, “Lessons Learned”.

с непрерывным стравливанием могут быть далее разделены на два типа в зависимости от скорости стравливания<sup>58</sup>:

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 в нисходящий трубопровод, а не в атмосферу.

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 (ppb) 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>59</sup>.

## C. Сокращение выбросов CH<sub>4</sub> из биогазовых установок

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

<sup>58</sup> ICF International, “Economic Analysis”.

<sup>59</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).



того, в некоторых компонентах, например в пленках крышки ферментатора, 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  $1000 \text{ см}^3 \cdot \text{мм} / (\text{м}^2 \cdot \text{д} \cdot \text{бар})^{60}$ . Поэтому выбросы ниже порогового уровня не включаются в статистику.

38. Это может показаться неожиданным, 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. Свалки отходов являются наиболее важным несельскохозяйственным источником выбросов  $\text{CH}_4$  в Европе, при этом на их долю приходится около 20 % общего объема всех выбросов. 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 существующих свалок наиболее подходящими вариантами являются (см. пункт 26 выше):

- a) сбор и утилизация газа;
- b) окисление  $\text{CH}_4$  в биопокрытиях 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 на свалках 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 сжатия и нормы давления частично отражают региональные различия, не все варианты, перечисленные ниже, в одинаковой 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

<sup>60</sup> Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, "Sicherheitsregeln für Biogasanlagen: Technische Information 4" (n.p., 2016) (German only).

качестве одного из важнейших поставщиков природного газа). В целом эти меры можно разделить на категории технических мер, осуществляемых за счет замены 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):

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

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

c) 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. Это позволяет сделать вывод, что снижение выбросов ПГ, которое является основной причиной производства биогаза, значительно сокращается. Планируется провести дальнейшие исследования и разработки в этой области, чтобы увеличить количество  $\text{CH}_4$ , практически пригодное для применения, и таким образом еще больше использовать существующий теоретический потенциал экономии 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>61</sup>.

---

<sup>61</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).