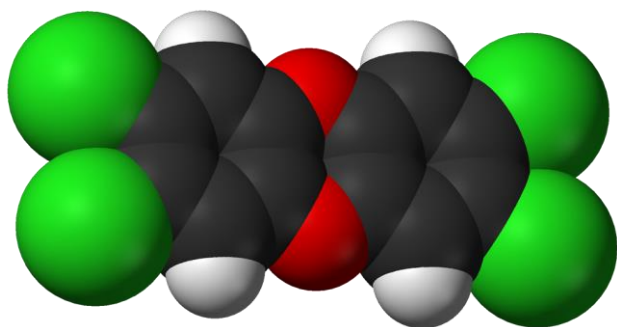


**К** настоящему времени в РФ накоплено более 53 млрд. тонн промышленных и коммунальных отходов. По данным Федеральной службы государственной статистики и Росприроднадзора, ежегодное увеличение количества отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, составляет около 7%. В 2021 г. по итогам инвентаризации территорий выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн. человек. Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов занимают территорию общей площадью более 4 млн. гектар, и эта территория ежегодно увеличивается на 300-400 тыс. гектар, выводя важные экономические территории из хозяйственного оборота.

**Д**аже при полной сортировке отходов никакие заводы по переработке вторсырья не смогут переработать все накопленные органические отходы: более 30% отходов (так называемые «хвосты») направляются на утилизационные заводы, использующие устаревшие технологии традиционного сжигания отходов в печах с колосниковыми решетками, что приводит к отравлению атмосферы, почвы и грунтовых вод образующимися диоксинами, летучей золой и др.



**ДИОКСИНЫ** — это глобальные экотоксиканты, обладающие мощным мутагенным, иммунодепрессантным, канцерогенным, тератогенным и эмбриотоксическим действием. Эти соединения в природе практически не разлагаются и накапливаются как в организме человека, так и в биосфере планеты, включая воздух, воду, пищу. Величина летальной дозы для этих веществ составляет миллионную долю грамма на 1 кг живого веса, что в тысячу раз опаснее боевых отравляющих веществ, таких как зоман, зарин и табун. Экологии и здоровью населения наносится значительно больший ущерб, чем ущерб от хранения отходов на полигонах.

**Н**овая технология аллотермической газификации органических отходов ультраперегретыми водяным паром и диоксидом углерода в детонационном конвертере отходов<sup>1</sup> полностью исключает образование и попадание в биосферу диоксинов, фуранов, бензопиренов и других опасных соединений. Она может применяться либо как основная технология для полной газификации любого органического сырья, либо как дополнительный технологический этап для обезвреживания/газификации «хвостов», образующихся при использовании устаревших и менее эффективных технологий переработки отходов (переработка фильтратов, токсичных жидкостей, токсичной летучей золы, смол, полукокса, медицинских отходов и т. д.)

### **Качественные эффекты:**

**П**олное преобразование органических отходов в синтез-газ с помощью предлагаемой технологии может глобально решить проблему накопления отходов и очистить существующие полигоны, вернув в хозяйственный оборот миллионы гектар земли и предотвратить угрозы здоровью миллионам людей. Распространение опыта данной технологии в международном формате улучшит экологический и технологический имидж Российской Федерации, которая станет передовой в сфере переработки органических отходов. Кроме того, организация подобного производства позволит создать высокотехнологичные рабочие места.

### **Экономические эффекты:**

**В** зависимости от локализации и объема применения технологии детонационного конвертера отходов окупаемость вложенных инвестиций может составить 2-3 года с последующей прибылью более 100% в год, за счет:

- Продажи произведенного из отходов продукта (высококачественного синтез-газа);
- Экологически чистого получения тепловой и электрической энергии при сжигании синтез-газа в котлах и электрогенераторах;
- Получения тарифного возмещения за переработку отходов;
- Экономии на транспортных расходах: мобильную установку можно устанавливать непосредственно на месте складирования отходов;
- Получения дохода при продаже квот по Киотскому соглашению, так как технология позволяет значительно сократить выбросы диоксида углерода;

---

<sup>1</sup>Фролов С. М. Газификация органических отходов ультраперегретым водяным паром и диоксидом углерода. Горение и взрыв, 2021, т. 14, №3, с. 74–97 ; doi: 10.30826/CE21140308

— Сокращения затрат на экологические отчисления и аренду участков для складирования отходов.

### **Безопасность применения:**

— Технология исключает какие-либо выбросы в атмосферу и в водоемы, т. е. экологически безопасна. Нормативы по шуму выполняются благодаря размещению конвертера отходов в контейнере с системой шумопоглощения.

— Технология использует автоматизированную систему управления и безопасности и исключает участие персонала в производственном процессе.

— Конвертер отходов работает при атмосферном давлении и не подпадает под действие «Правил промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением», Утв. Приказом Ростехнадзора от 5 декабря 2020 г. N 536.

### **Преимущества инновационного решения по сравнению с конкурирующими или альтернативными решениями:**

#### **1. Большая прибыль при продаже товарной продукции, полученной из отходов после покрытия всех собственных нужд.**

*Товарный продукт – получаемый из органических отходов синтез-газ высокого качества, содержащий только водород и монооксид углерода, не требует дополнительных операций очистки. Синтез-газ может использоваться для экологически чистого получения тепла, электричества, и/или сырья для производства водорода, аммиака, метанола, моторных топлив.*

#### **2. Нет выбросов в атмосферу и в водоемы.**

*Полная термическая деструкция органических отходов в среде ультраперегретых (выше 2000°C) водяного пара и диоксида углерода. Другие технологии (за исключением плазменных технологий) используют газифицирующий агент с температурой ниже 1100°C, которая недостаточна для полной газификации токсичных смол и полукокса. Использование пара и диоксида углерода в качестве газифицирующего агента исключает образование диоксинов и фуранов.*

### **3. Низкие капитальные вложения и эксплуатационные затраты на агрегаты и комплектующие, быстрая окупаемость инвестиций.**

*Оценки экономических параметров строительства перерабатывающего комплекса мощностью 150 тысяч тонн отходов в год, выполненные в начале 2021 г., показывают, что капитальные вложения составят - 998 370 тыс. руб.; дисконтированный срок окупаемости (DPP) – 34 месяца; норма рентабельности IRR- 80,9%*

### **4. Высокая энергоэффективность.**

*На каждый 1 Дж затраченной энергии на организацию конверсии органических отходов образуются продукты с энергетической ценностью 4 Дж<sup>2</sup>*

### **5. Установка работает на получаемом синтез-газе.**

*Установка может работать на широком спектре стартовых топлив – метан, пропан, бензин и др., а также использовать для самозапитки часть (в идеале до 10%) произведенного синтез-газа;*

### **6. Простая масштабируемость технологии.**

*Масштаб установки может варьироваться от лёгких мобильных установок производительностью 50-100 кг/час до стационарных установок производительностью выше 10-20 тонн/час;*

### **7. Возможность переработки любых органических отходов без предварительной подготовки.**

*Мощные ударные волны и сверхзвуковые струи газифирующих агентов, получаемые в импульсно-детонационной пушке (ИДП), обладают огромной разрушающей способностью. Под их воздействием органические отходы с возможными минеральными включениями распыляются на мельчайшие частицы, поэтому подача отходов возможна без предварительных операций сортировки и измельчения.*

---

<sup>2</sup> Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Sadykov I. A., Silantiev A. S., Shamshin I. O., Aksenov V.S., Avdeev K. A., Frolov F. S. Natural gas conversion and liquid/solid organic waste gasification by ultra-superheated steam. *Energies*, 2022, Vol. 15, 3616

**Сводная таблица сравнения существующих и перспективных технологий по утилизации отходов, их экологичности и экономической эффективности:**

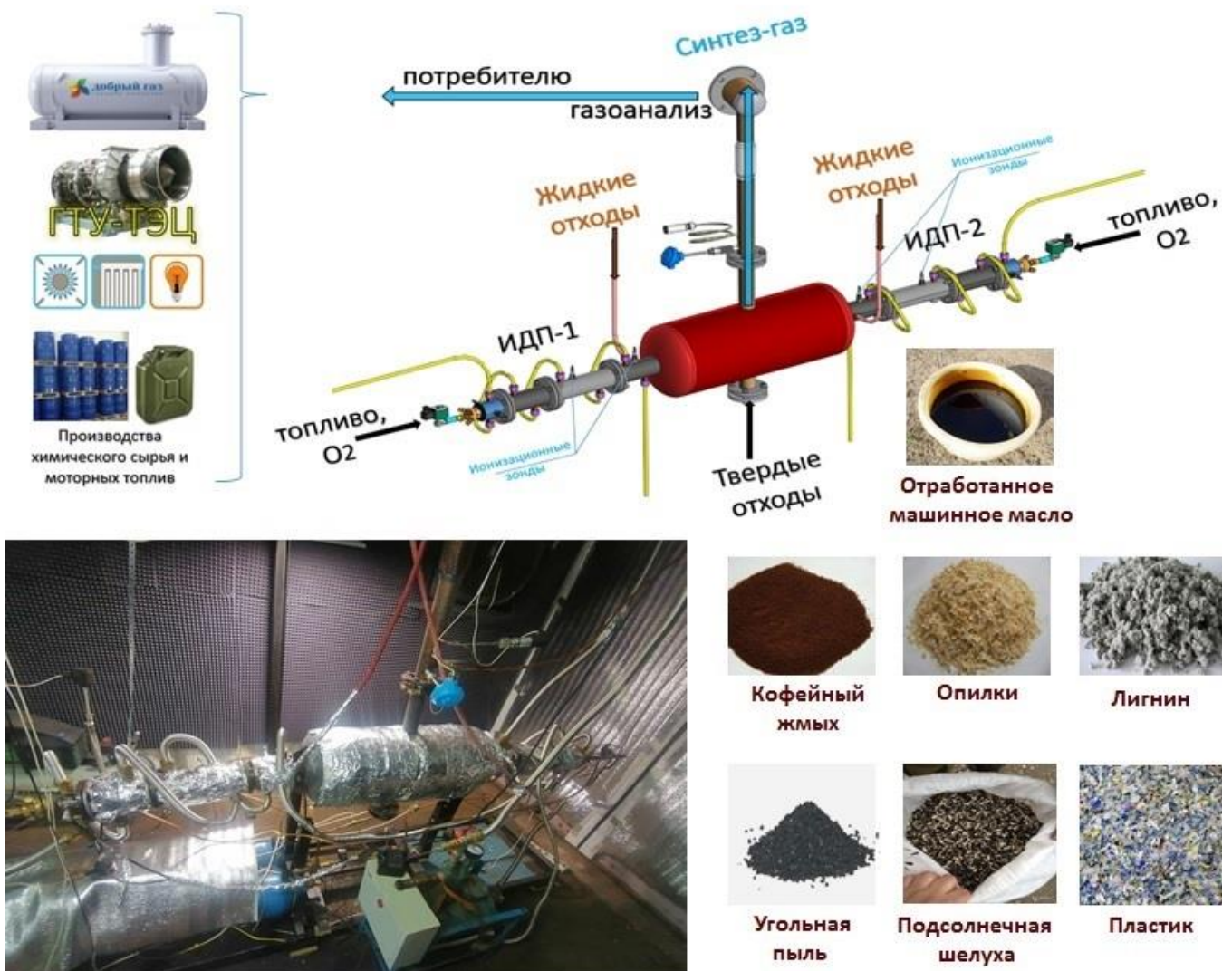
<b>№</b>	<b>Сжигание</b>	<b>Пиролиз и термическое разложение ТБО без доступа кислорода</b>	<b>Обычная газификация</b>	<b>Плазменная газификация с использованием воздушной плазмы</b>	<b>Термическая конверсия в ультраперегретом водяном паре</b>
<b>1</b>	70% разрушение (900 К)	90% разрушение (700–1200 К)	90% разрушение (1100 К)	Полное разрушение (>2000 К)	<b>Полное разрушение (&gt; 2000 К)</b>
<b>2</b>	Много смол и фуранов	Есть смолы и фураны	Есть смолы и фураны	Нет смол и фуранов	<b>Нет смол и фуранов</b>
<b>3</b>	30% токсичной смолы	10 % золы	10 % золы	Нет золы	<b>Нет золы</b>
<b>4</b>	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Кроме отдельных видов неорганических отходов	Любой вид отходов	<b>Любой вид отходов</b>
<b>5</b>	Требуется сортировка отходов	Требует однородного состава отходов	Требуется сортировка отходов	Не требуется сортировка отходов	<b>Не требуется сортировка отходов</b>
<b>6</b>	Большой объем отходов	Малый объем отходов	Малый объем отходов	Малый объем отходов	<b>Нет отходов</b>
<b>7</b>	Высокие выбросы дымовых газов	Средние выбросы дымовых газов	Средние выбросы дымовых газов	Низкие выбросы дымовых газов	<b>Нет выбросов дымовых газов</b>
<b>8</b>	Чувствителен к влажности отходов	Чувствителен к влажности отходов	Чувствителен к влажности отходов	Не чувствителен к влажности отходов	<b>Не чувствителен к влажности отходов</b>
<b>9</b>	Генераторный газ (технический)	Забалластированный синтез-газ	Генераторный газ (технический)	Высокое качество получаемого синтез-газа	<b>Синтез-газ, энергетический газ</b>
<b>10</b>	Выход: тепло, электроэнергия	Выход: Синтез-газ, жидкие топлива, электроэнергия, тепло	Выход: тепло, электроэнергия	Выход: Синтез-газ, жидкие топлива, электроэнергия, тепло	<b>Выход: Синтез-газ, кислоты, шлак (порошок), электроэнергия, тепло</b>
<b>11</b>	Процесс: автотермический	Процесс: автотермический	Процесс: автотермический	Процесс: аллотермический, энергоёмкий	<b>Процесс: аллотермический, энергоэффективный</b>



## Потенциальные потребители инновационного решения:

- Мусороперерабатывающие заводы и полигоны;
- Учреждения, перерабатывающие медицинские и токсичные отходы;
- Деревоперерабатывающие предприятия;
- Сельскохозяйственные и животноводческие предприятия;
- Угледобывающая промышленность (газификация штыба);
- ЖКХ, хозяйствующие субъекты поселковых объединений и другие.

## Опытный образец детонационного конвертера отходов:



## **Список трудов и публикаций по технологии детонационного конвертера отходов:**

1. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Avdeev K. A., Nabatnikov S. A. Patent of Russian Federation No. 2686138 dated 24.04.2019. Priority dated 26.02.2018.
2. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Nabatnikov S. A. Patent of Russian Federation No. 2683751 dated 01.04.2019. Priority dated 24.05.2018.
3. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Shamshin I. O., Sadykov I. A., Koval' A. S., Frolov F. S. // Applied Thermal Engineering. 2021. V. 183(1). P. 116195. doi: 10.1016/j.applthermaleng. 2020.116195.
4. Frolov S.M. Organic waste gasification: A selective review. Fuels, 2021, 2, pp. 556–651 (<https://doi.org/10.3390/fuels2040033>)
5. Фролов С. М. Газификация органических отходов ультраперегретым водяным паром и диоксидом углерода. Горение и взрыв, 2021, т. 14, №3, с. 74–97 (doi: 10.30826/CE21140308)
6. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Sadykov I. A., Silantiev A. S., Shamshin I. O., Aksenov V.S., Avdeev K. A., Frolov F. S. Natural gas conversion and liquid/solid organic waste gasification by ultra-superheated steam. Energies, 2022, Vol. 15, 3616
7. Фролов С. М., Сметанюк В. А., Садыков И. А., Силантьев А. С., Аксёнов В. С., Шамшин И. О., Авдеев К. А., Фролов Ф. С. Автотермическая конверсия природного газа и аллотермическая газификация жидких и твердых органических отходов ультраперегретым водяным паром. Горение и взрыв, 2022, т.15, №2, с. 75-87 (DOI: 10.30826/CE22150207, EDN: KVGBHS)
8. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Sadykov I. A., Silantiev A. S., Shamshin I. O., Aksenov V. S., Avdeev K. A., Frolov F. S. Natural gas conversion and organic waste gasification by detonation-born ultra-superheated steam: Effect of reactor volume. Fuels, 2022, Vol. 3, No. 3, pp. 375-391 (<https://doi.org/10.3390/fuels3030024>)
9. Фролов С. М., Сметанюк В. А., Садыков И. А., Силантьев А. С., Шамшин И. О., Аксёнов В. С., Авдеев К. А., Фролов Ф. С. Влияние объема реактора на автотермическую конверсию природного газа и аллотермическую газификацию органических отходов ультраперегретым паром. Горение и взрыв, 2022, т. 15, №3, с. 71–87 (DOI: 10.30826/CE22150308; EDN: JMZBKB)
10. Фролов С. М., Сметанюк В. А., Шамшин И. О., Коваль, А. С., Фролов Ф. С., Набатников С. А. Циклическая детонация тройной газовой смеси “пропан–кислород–водяной пар” для получения сильно перегретого водяного пара. Доклады российской академии наук, 2020, т. 490, с. 57–61 (DOI: 10.31857/S268695352001015X)
11. С. М. Фролов, В. А. Сметанюк, С. С. Сергеев. Реактор для газификации отходов сильно перегретым водяным паром. Доклады российской академии наук. Химия, науки о материалах, 2020, том 495, с. 71–76 (DOI: 10.31857/S2686953520060151)
12. Frolov S. M., Smetanyuk V. A., Shamshin I. O., Sadykov I. A., Koval' A. S., Frolov F. S. Production of highly superheated steam by cyclic detonations of propane and methane-steam mixtures with oxygen for waste gasification. Applied Thermal Engineering, 2021, Vol. 183, Part 1, p. 116195. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116195>