

# Принцип работы теплогенераторов пульсирующего горения

**Максим КОРОЛЬКОВ,**  
руководитель направления малой  
энергетики компании P.B.C.

**В настоящее время выпускается немало видов автономных отопительных установок, в число которых входят и автоматические водогрейные котлы пульсирующего горения. В них используется принципиально новая технология выработки тепла. Достигнутые технические характеристики позволяют утверждать, что котлы пульсирующего горения являются одним из наиболее эффективных и безопасных средств решения задачи отопления**

**П**ринцип работы этих котлов основан на периодическом объемном (бесфакельном) сжигании газообразного топлива. Этим обстоятельством обусловлены их конструктивные особенности, например, отсутствие горелки, трубы самотяги или дымохода и механически движущихся частей. При использовании установок пульсирующего горения нет необходимости в высокой дымовой трубе для обеспечения самотяги. Площади поперечного сечения дымоходов котлов в 3–5 раз меньше, чем у котлов факельного горения, что обеспечивает по меньшей мере двукратную экономию средств при сооружении устройств дымоудаления в котельной с котлами пульсирующего горения (по сравнению с обычными решениями). Дымовая труба предельно малого сечения и дымоходы таких котлов по существу являются выхлопными трубами двигателя внутреннего сгорания. Независимо от тепловой производительности котла мощность электрооборудования не превышает 100 Вт.

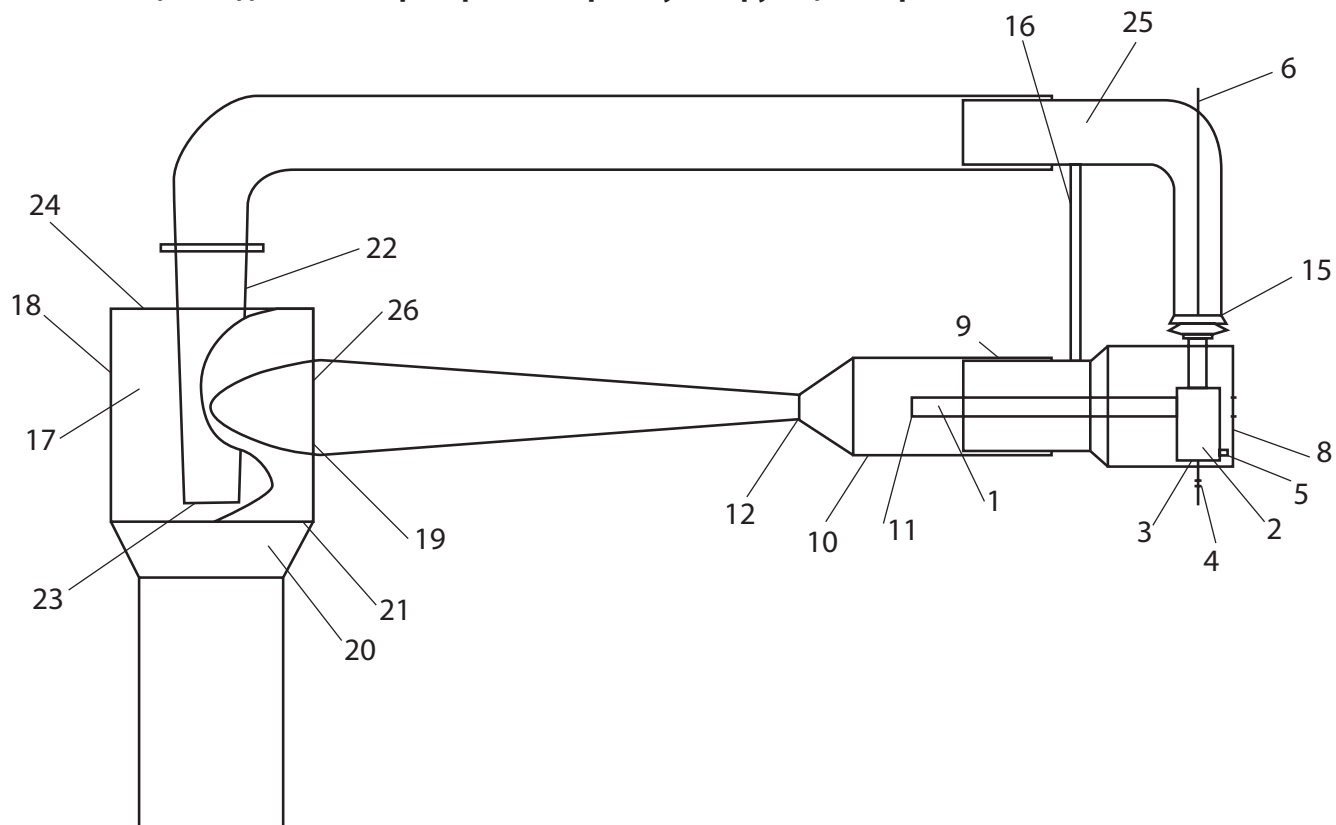
При минимальном энергопотреблении котлы имеют высокий КПД — 93–95%. Малые габариты (не более 2,2 дм<sup>3</sup>/кВт) и масса (1,2 т/МВт) на единицу теплопроизводительности обусловлены высоким коэффициентом теплоотдачи от продуктов сгорания стенкам теплообменного аппарата и высокими скоростями течения газовых сред, которые в 3–4 раза выше, чем в традиционных котлах. Работа котлов характеризуется низким уровнем угарного газа, оксидов азота на единицу выработанного тепла. Например, эмиссия оксидов азота в 1,5–2 раза ниже, чем в традиционных котлах. Еще

одно достоинство, особенно актуальное для российских условий эксплуатации — они могут работать при сверхнизком давлении газового топлива (менее 70 мм вод. ст.). Даже при нулевом избыточном давлении в питающем газопроводе котел сохраняет работоспособность, т. к. работает по принципу самовсасывающего реактивного двигателя.

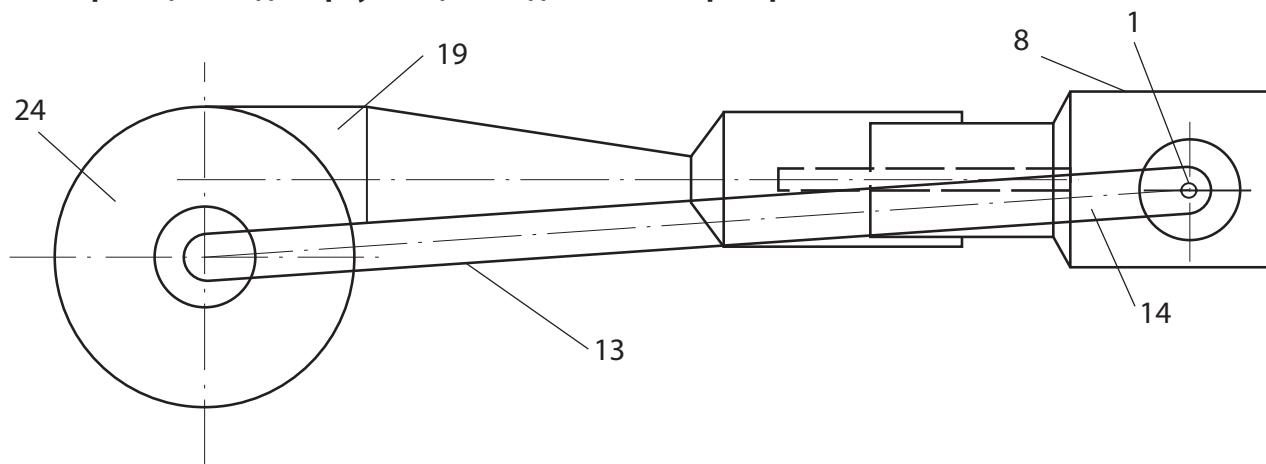
## ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Теплогенератор пульсирующего горения (рис. 1 и 2) содержит камеру пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном, включающую камеру сгорания с системой подачи топлива через форсунку, запорный вентиль, систему воспламенения, состоящую из электрической свечи и трубки для подачи воздуха в момент первоначального воспламенения топлива, резонансную трубу, тангенциально присоединенную к камере сгорания, расположенные в общем кожухе, который с помощью телескопического соединения связан с инжектором, что обеспечивает возможность осевого перемещения инжектора для изменения расстояния от среза резонансной трубы до горловины инжектора; воздушную трубу, состоящую из входного участка, жестко скрепленного посредством перемычки с кожухом, и выходного участка, при этом теплогенератор снабжен охлаждающей камерой, которая соединена с выходным отверстием инжектора таким образом, что ее ось расположена перпендикулярно оси инжектора. Охлаждающая камера имеет цилиндрический участок с патрубком для подвода газов из инжектора

**Рис. 1. Общий вид теплогенератора с камерой пульсирующего горения**



**Рис. 2. Проекция (вид сверху) общего вида теплогенератора**



- |     |   |     |   |
|-----|---|-----|---|
| 1.  | Аэродинамический клапан                     | 14. | Входной участок воздушной трубы         |
| 2.  | Камера сгорания                             | 15. | Раструб                                 |
| 3.  | Система подачи топлива через форсунку       | 16. | Перемычка                               |
| 4.  | Запорный вентиль                            | 17. | Охлаждительно-смесительная камера       |
| 5.  | Электрическая свеча в системе воспламенения | 18. | Цилиндрический участок                  |
| 6.  | Трубка в системе воспламенения              | 19. | Патрубок для подвода газов из инжектора |
| 7.  | Резонансная труба                           | 20. | Конический участок                      |
| 8.  | Общий кожух                                 | 21. | Выходное сопло                          |
| 9.  | Телескопическое соединение                  | 22. | Патрубок на наружной поверхности дна    |
| 10. | Инжектор                                    | 23. | Воздушное сопло                         |
| 11. | Резонансная труба                           | 24. | Наружная поверхность дна                |
| 12. | Горловина инжектора                         | 25. | Заслонка                                |
| 13. | Выходной участок воздушной трубы            | 26. | Выходное отверстие инжектора            |

по окружности камеры, конический участок, оканчивающийся выходным соплом, патрубок на наружной поверхности днища; внутри охладительно-смесительной камеры на поверхности днища по ее оси крепится суживающееся воздушное сопло, через которое осуществляется поступление охлаждающего воздуха в охладительно-смесительную камеру. Выходной участок воздушной трубы одним концом крепится к патрубку, а другим телескопически соединяется с входным участком воздушной трубы, в котором установлена заслонка, имеющая раструб, расположенный соосно с концом аэродинамического клапана, выступающего из кожуха.

Теплогенератор пульсирующего горения работает следующим образом. С помощью трубки через аэродинамический клапан подается воздух в камеру сгорания, включается электрическая свеча, затем открывается запорный ventиль, и жидкое топливо через форсунку подается в камеру сгорания. После достижения устойчивого пульсирующего горения в камере сгорания прекращается подача воздуха через трубку и отключается электрическая свеча. Продукты сгорания выбрасываются периодически с частотой 50–70 Гц из резонансной трубы с большой скоростью и высокой температурой 900–1100° С. Проходя через горловину инжектора, продукты сгорания создают разрежение в кожухе, за счет этого обеспечивается подсос холодного воздуха через входное отверстие кожуха, который, обтекая камеру сгорания и резонансную трубу, смешивается в инжекторе с продуктами сгорания и поступает в охладительно-смесительную камеру.

Во время пульсирующего горения в камере воспламенения из аэродинамического клапана периодически с частотой 50–70 Гц выбрасывается с высокой скоростью струя воздуха. Эта струя направляется во входной участок воздушной трубы, что и обеспечивает подсос в нее через раструб холодного окружающего воздуха. Входной участок воздушной трубы изогнут таким образом, чтобы выходящий из нее воздух был направлен по оси

кожуха и через выходной участок воздушной трубы поступал в смесительно-охладительную камеру через воздушное сопло. В камере происходит смешение охлаждающего воздуха с газами из инжектора и образуется смесь газов с температурой, требуемой для рабочей смеси трс, которая через выходное сопло охладительно-смесительной камеры поступает потребителю.

#### Теплогенераторы имеют следующие достоинства:

1. Предельная простота конструкции, отсутствие горелки и дымососа;
2. Малые габариты и масса на единицу теплопроизводительности (в 2 раза выше, чем в традиционных котлах). Такие весогабаритные характеристики обусловлены высоким коэффициентом теплоотдачи от продуктов сгорания к стенкам теплообменного аппарата и высокими скоростями течения газовых сред;
3. Экономичность использования энергетических ресурсов теплогенераторов пульсирующего горения обуславливается:
  - отсутствием дымососа и постоянно действующего вентилятора (электроэнергию потребляют только КИПиА);
  - малым гидравлическим сопротивлением контура котла (экономия электроэнергии в насосном хозяйстве);
  - высоким КПД котла (93–95%);
  - малой поверхностью теплообменного аппарата и малой собственной теплоемкостью котлоагрегата — малые потери тепла временно остановленным и повторно запускаемым котлом;
  - малым расходом тепла на собственные нужды котельной вследствие ее малогабаритности.
4. Работа в системе старт-стопного регулирования, дающая значительную экономию газа;
5. Предельная простота конструкции, высокая надежность, простота и сокращение сроков монтажа, наладки и ввода в строй за счет высокой степени заводской готовности;
6. Возможность строить котельные установки на малых площадях за счет компактного их размещения (например, установка 2 котлов

ПВ-400 друг на друга, для чего в конструкции предусмотрены установочные элементы);

7. Высокий уровень пассивной безопасности из-за малого объема, заполняемого газозвдушной смесью, и высокой прочности оболочек. Теплогенераторы имеют столь малые объемы всех полостей, что суммарная энергия хлопка незначительна, а прочность всех элементов конструкции позволяет выдержать избыточное давление при хлопке 16 кг/см<sup>2</sup>, хотя теоретически достижимое давление при хлопке — 8 кг/см<sup>2</sup>.

#### «Пассивная безопасность»

(в газовом хозяйстве) означает, что единица газоиспользующего оборудования сконструирована (рассчитана) и изготовлена (с обязательными последующими испытаниями) таким образом, что при выведении из действия (выходе из строя) любых элементов (узлов) автоматики безопасности исключается травмирование людей и/или значительный материальный ущерб от «хлопка» газозвдушной смеси;

#### «Полная пассивная безопасность»

комплекса газоиспользующего оборудования (котельной установки в целом), кроме изложенного в п. 1, предполагает также отсутствие газопасопасного помещения, в котором наряду с травмированием персонала возможно отравление (удушьем) топливным либо угарным газом.

Реформирование ЖКХ в регионах России неизбежно влечет децентрализацию коммунального теплоснабжения с резким увеличением количества автономных газовых котельных. Изменения в промышленности, сельском хозяйстве и сфере обслуживания, повлекшие возникновение большого количества малых предприятий, и рационализация теплоэнергетики средних предприятий также обусловили многократное увеличение количества автономных газоиспользующих установок. Простой механический перенос наработанного опыта проектирования, строительства и эксплуатации объектов газопотребления абсолютно неприемлем в новых условиях.