

К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.В. Дыбок

Санкт–Петербургский университет сервиса и экономики 192171, Санкт-Петербург, ул. Седова, 55/1

Аннотация: Исследованы дополнительные возможности повышения эффективности когенерационных установок за счёт дооборудования их системами перепуска отработавших газов и получения (либо дозирования) кислорода.

В настоящее время в энергетике России всё большее применение находят газообразные углеводородные топлива. Причём большое внимание уделяется повышению эффективности их использования, в основном, за счёт комплексного производства тепловой и электрической энергии. Для этих целей сложившийся рынок предлагает так называемые «когенерационные» установки как отечественных, так и зарубежных производителей.

Когенерационные установки (или мини-ТЭЦ) создаются на базе двигателей внутреннего сгорания, как правило, с внешним смесеобразованием и позволяют повысить коэффициент использования располагаемой (содержащейся в углеводородном топливе) энергии в 2 – 2,5 раза за счёт утилизации теплоты отработавших газов, надувочного воздуха и охлаждающей жидкости с использованием вспомогательных систем. При этом традиционно процесс сжигания газообразного топлива реализуют при коэффициенте избытка воздуха, используемого в качестве окислителя, $\alpha = 1,0 - 1,4$ в предположении, что сгорание с достаточной степенью эффективности обеспечивается до конечных продуктов – двуокиси углерода и окиси водорода. Это считается положительным эффектом с точки зрения минимизации загрязнения атмосферного воздуха токсичными продуктами неполного сгорания топлива (в основном, оки-

сью углерода), но не решает проблему уменьшения выброса в атмосферу двуокиси углерода, способствующей возникновению «парникового» эффекта, а также окислов азота, являющихся токсичными загрязнителями атмосферы.

Однако, не смотря на повышение коэффициента использования располагаемой энергии топлива, по нашему мнению не все возможности повышения «суммарной» эффективности процесса преобразования энергоносителя – газообразного углеводородного топлива – исчерпаны.

Как показывает анализ проведенных в конце 40-х – начале 50-х годов прошлого века исследований, выполненных учеными Государственного научно – исследовательского и проектного института азотной промышленности (ГИАП) [1], сжигание углеводородных газовых топлив можно осуществлять с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 0,4$ с одновременным получением механической (электрической) энергии и технологического газа (смеси оксида углерода и водорода). При этом необходимо использовать в качестве окислителя воздух с концентрацией в нём кислорода в пределах от 56 до 92% массовых. Работоспособность двигателя с точки зрения устойчивости реализации рабочего

цикла при изменении α в диапазоне от 0,4 (обогащённый кислородом воздух) до 1,1 (атмосферный воздух при нормальной концентрации кислорода) по результатам их экспериментов остаётся одинаковой, а тепловой эффект реакции окисления и выход технологического газа связаны соотношением

$$H = 8230 - 2515 \sigma,$$

где: H – тепловой эффект реакции конверсии метана, ккал/м³; σ – выход технологического газа, м³/м³ метана.

Последние, в свою очередь, зависят от α и могут быть определены в интервале значений $\alpha = 0,39 - 1,1$ по зависимостям

$$\sigma = 4,18 - 4,35\alpha,$$

$$H = 10940 \alpha - 2285.$$

Энергетическая эффективность процесса с точки зрения полезной энергии, вырабатываемой двигателем, может быть оценена по зависимости

$$E = 2,42\alpha - 0,51, \text{ кВт ч/м}^3 \text{ метана}$$

при постоянстве индикаторного $\eta_i = 0,24$ и механического $\eta_{\text{мех}} = 0,8$ коэффициентов полезного действия.

Интересным представляется выявленный исследователями факт приблизительно равенства количеств теплоты на единицу объёма горючей смеси, выделяющейся в реакциях окисления метана воздухом при нормальном режиме работы двигателя ($\alpha = 1,0$) и при работе с использованием воздуха, обогащённого кислородом ($\alpha = 0,4$). Это обусловлено тем, что меньший тепловой эффект реакции $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + 0,67 \text{ N}_2 = \text{CO} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} + 0,67 \text{ N}_2 + 66400 \text{ кал}$ по сравнению с теплотой сгорания метано-воздушной смеси $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + 7,6 \text{ N}_2 = \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 7,6 \text{ N}_2 + 191750 \text{ кал}$ компенсируется большей концентрацией горючего компонента в единице объёма горючей смеси.

Таким образом, в продуктах сгорания метана (при $\alpha = 0,4$) содержится до 77% смеси оксида углерода и водорода, являющейся как газообразным мотор-

ным топливом, так и сырьём для синтеза аммиака, спиртов и жидкого моторного топлива. Такой процесс окисления углеводов назван исследователями «взрывной конверсией метана».

Экспериментальные исследования проводились как на модельной установке с газопоршневым двигателем мощностью 7 л.с., так и на полупромышленной энергохимической установке с газопоршневым двигателем фирмы «Ингерсолл Ранд» мощностью 300 л.с. (тип – 8ГЧ 28/32, степень сжатия $\varepsilon = 5$, частота вращения коленчатого вала $n = 350$ об/мин). В последнем случае при использовании в качестве топлива «богатого» коксового газа (газа, возвращаемого коксохимическому заводу после выделения водорода из коксового газа и содержащего, в основном, оксид углерода, метан и этилен) выход смеси оксида углерода и водорода составил 830 нм³/час, а дополнительная выработка энергии составила 0,2 кВт ч/нм³ ($\text{CO} + \text{H}_2$), т.е. около 166 кВт ч (226 л.с.), что практически соответствует номинальной мощности двигателя. Двигатель работал устойчиво и без детонации во всём диапазоне нагрузок при изменении α в пределах 0,4 – 1,1. Наличия сажи в составе отработавших газов не наблюдалось.

При соотношении в конвертированном газе $(\text{CO} + \text{H}_2)/\text{N}_2 = 3,1$ и $\alpha = 0,39$ были получены следующие материальные (θ) и энергетические (E) показатели процесса взрывной конверсии метана, отнесённые к 1 м³ смеси ($\text{CO} + \text{H}_2$):

- удельные расходы метана, кислорода и воздуха:

$$\theta_{CH_4} = 0,41 \frac{m^3 CH_4}{m^3 (CO + H_2)};$$

$$\theta_{O_2} = 0,26 \frac{m^3 O_2}{m^3 (CO + H_2)};$$

$$\theta_{возд} = 0,38 \frac{m^3 возд}{m^3 (CO + H_2)};$$

- удельная выработка электроэнергии

$$E = 0,20 \frac{кВт \cdot ч}{m^3 (CO + H_2)}.$$

Исследования, проведенные в начале 90-х годов в Военном инженерно-техническом университете (г. Санкт-Петербург) [2], показали, что процесс конверсии метана можно производить без связи двигателя с атмосферой по воздухозабору, используя в качестве инерта вместо азота воздуха смесь ($CO + H_2$), получаемую как конечный продукт. С точки зрения термодинамики процесса сгорания она может быть представлена как двухатомный газ, сумма молекулярных весов CO и H_2 незначительно отличается от молекулярного веса азота ($\mu_{N_2} = 28, \mu_{(CO+H_2)} = 30$), поэтому замещение азота смесью ($CO + H_2$) по количеству теплоты, уносимой из цилиндров с продуктами сгорания незначительно скажется на термодинамической эффективности процесса, позволив в то же время исключить образование в нём окислов азота, являющихся токсичными. С этой целью систему газовоздушных трактов (ГВТ) двигателя необходимо дооснастить подсистемой перепуска части продуктов конверсии с выпуска двигателя на впуск, подавая последние непосредственно в смеситель в количестве, обеспечивающем получение заданного α в смеси с кислородом и метаном.

Т.о., появляются дополнительные возможности повышения эффективности когенерационных установок за счёт дооборудования их системами перепуска отработавших газов (ОГ) и получения (либо дозирования) кислорода. Получаемый технологический газ можно исполь-

зовать либо как сырьё для производства синтетического углеводородного топлива, например, по методу Фишера – Тропша, либо в другом тепловом двигателе как газообразное топливо для производства дополнительного количества механической (либо электрической) энергии.

При реализации первого варианта газ необходимо либо собирать в специальные ёмкости, например, баллоны высокого давления, для отправки на переработку, либо на базе когенерационной установки создавать мобильную энерготехнологическую установку для одновременного производства электрической и тепловой энергии и моторного топлива.

При реализации второго варианта утилизацию теплоты ОГ и охлаждающей жидкости обоих двигателей целесообразно осуществлять единой технологической схемой, а вырабатываемую электрическую энергию направлять на сборную систему шин для питания индивидуальных потребителей.

Оба варианта позволяют получить дополнительный эффект: в первом случае в виде дополнительно произведённого технологического газа, во втором случае в виде дополнительно произведённой тепловой и электрической энергии за вычетом затрат на получение газообразного кислорода для реализации процесса взрывной конверсии метана. Эти затраты по данным [1] составляли при существующих в то время технологиях его получения $0,16 \text{ кВтч/м}^3 (CO + H_2)$.

Список использованных источников

1. Кобозев Н.И., Казарновский Я.С., Менделевич И.И. Взрывная конверсия метана. Труды ГИАП. М., 1957/
2. Способ работы ДВС. /АС СССР № 326763, 1991/