

Рельефные завихрители потока для газовых двигателей компрессорных установок

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10042

Э.А. Петровскийд.т.н., профессор
petrovsky_quality@mail.ru**К.А. Башмур**старший преподаватель
kbashmur@sfu-kras.ru**Ю.А. Геращенко**студент магистратуры
geraschenko.iul@yandex.ru**В.А. Маколов**студент магистратуры
vadik0597@yandex.ru**Ю.Н. Шадчина**студент магистратуры
ulia.sh72@yandex.ru

Кафедра «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», Институт нефти и газа, Красноярск, Россия

В камере сгорания поршневых и турбинных газовых двигателей компрессорных установок предусмотрен завихритель газового потока. В отличие от стандартных диффузорных завихрителей потока, имеющих выделенные недостатки, в статье предлагается и исследуется с помощью программного модуля гидродинамического моделирования SolidWorks Flow Simulation прямооточный завихритель, на который нанесен винтовой рельеф. Показано, что рельефный завихритель не менее эффективно может стабилизировать и смешивать поток, а в перспективе, вероятно, лучше обычного диффузора. С точки зрения эффективности закрутки рассмотрены различные профили рельефа завихрителя, при этом выделен треугольный профиль.

Материалы и методы

Выдвинута гипотеза об эффективности использования в качестве стабилизатора потока в газотурбинных и газопоршневых двигателях рельефного завихрителя. Проведено имитационное моделирование потока для различных геометрических профилей проходного сечения рельефного завихрителя в програмном обеспечении SolidWorks Flow Simulation. Выявлен наиболее эффективный профиль.

Ключевые слова

газотурбинный двигатель, газопоршневой двигатель, завихрение потока, стабилизация потока, попутный нефтяной газ, завихритель

Введение

Зачастую на месторождениях попутный нефтяной газ (ПНГ) сжигается в факельных установках или рассеивается в атмосфере. По различным данным ежегодно в мире сжигается в факелах или рассеивается в атмосфере от 60 до 100 млрд м³ ПНГ. Потеря такого ценного энергетического сырья крайне нецелесообразна. Кроме этого, выброс в атмосферу попутного нефтяного газа вызывает серьезные экологические проблемы. Поэтому рациональное использование ПНГ является одной из основных проблем нефтегазовой отрасли [1].

Известны такие способы использования и переработки ПНГ, как: закачивание его в недра с целью повышения дебита скважины; получение тепловой и электрической энергии; переработка на нефтехимических производствах с целью извлечения различных полезных компонентов и др. При этом в первых двух случаях, при использовании ПНГ на месторождении, применяются газопоршневые и газотурбинные двигатели. Проблемам эффективного преобразования газового потока в них посвящена данная статья.

Использование газопоршневых и газотурбинных двигателей на месторождениях нефти и газа

В настоящее время в нефтегазовой отрасли находят все более широкое применение газопоршневые (ГПД) и газотурбинные (ГТД) двигатели. В качестве топлива для данных установок используют ПНГ [2]. Применяются они в основном для выработки электроэнергии и поддержания энергии пласта.

В обоих двигателях при сгорании газовоздушной смеси образуется поток раскаленных газов. Смешивание потока осуществляют на стабилизаторах-смесителях, основанных на эффекте Вентури в сужающих устройствах [3]. Таким образом, образуется закрученный газовый поток.

Закручивание потока в ГПД и ГТД осуществляется для стабилизации процессов горения, интенсификации перемешивания газа и топлива, контроля температуры и выбросов в атмосферу ядовитых газов.

Основная проблема таких смесителей в том, что они не позволяют регулировать закрутку потока, так как при малых скоростях потока (малом числе Рейнольдса) закрутка существенно уменьшается и эффективность таких завихрителей падает.

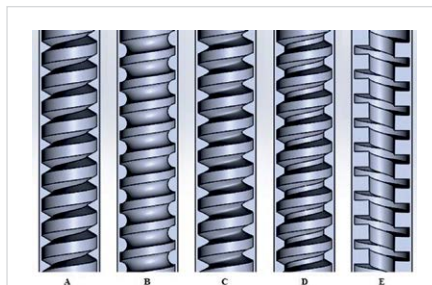


Рис. 1 — Профили завихрителей: А — треугольный; В — полукруглый; С — синусоидальный; D — трапецидальный; E — прямоугольный
Fig. 1 — Swirler profiles: A — triangular; B — semicircular; C — sinusoidal; D — trapezoidal; E — rectangular

При этом в литературе [4] указывается, что интенсифицировать теплообмен возможно за счет дополнительной закрутки потока и эффекта увеличения площади теплообмена за счет оребрения или профилирования поверхности.

Виды закручивающих устройств. Рельефный завихритель

Очевидно, что регулировать завихрение потока можно с помощью закручивающего устройства — завихрителя. В настоящее время существует множество конструкций закручивающих устройств: скрученные ленты, шнеки, устройства с тангенциальным подводом потока, аксиально-лопаточные завихрители и др.

Также известны завихрители частично перекрывающие проходное сечение. К ним относятся, в частности, завихрители с винтовым оребрением, проволочной навивкой, а также со спиральной накаткой, называемые также прямооточными [4].

Рельефные завихрители, частично перекрывающие проходное сечение, считаются наиболее перспективными для использования. Они, в отличие от других видов завихрителей, могут эффективно применяться в многофазных потоках, обеспечивая за счет кривизны обтекаемых поверхностей и наличия отрывных зон глобальное закручивание потока жидкости.

Создаваемая рельефными завихрителями закрутка потока, то есть направленный дополнительный конвективный перенос импульса, массы и энергии в тангенциальном направлении, могут положительно влиять на повышение теплоэнергетической эффективности и надежности их работы.

По форме профилей рельефные завихрители мы разделили на (рис. 1): треугольные; трапецидальные; полукруглые; синусоидальные; прямоугольные. Форма профиля оказывает определяющее влияние на формирование зон отрыва и присоединения потока, структуру рециркуляционных областей и турбулентный перенос в слое смешения.

Моделирование прямооточного стабилизатора

Целью моделирования газового потока являлось не только оценка возможности применения прямооточных стабилизаторов в ГПД и ГТД, но и для полноты представления рассмотреть влияние профилей сечения устройств (рис. 1) на эффективность закручивания потока.

Длина стабилизатора, м	1.5
Внешний диаметр стабилизатора, м	0.200
Внутренний диаметр стабилизатора, м	0.182
Количество витков	10
Flow velocity, m/s	300
Total pressure, MPa	5

Таб. 1 — Данные, используемые для моделирования
Tab. 1 — Data are used for simulation

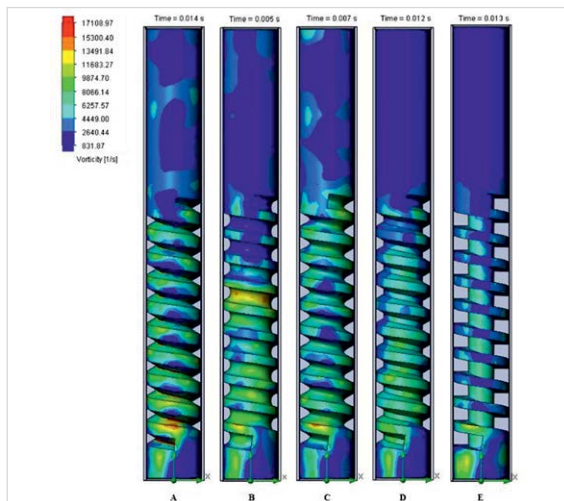


Рис. 2 — Результаты моделирования завихренности потока в стабилизаторе: А — треугольный; В — полукруглый; С — синусоидальный; D — трапециевидный; E — прямоугольный
 Fig. 2 — The simulation results of the flow swirling in the stabilizer. Swirler profiles: A — triangular; B — semicircular; C — sinusoidal; D — trapezoidal; E — rectangular.

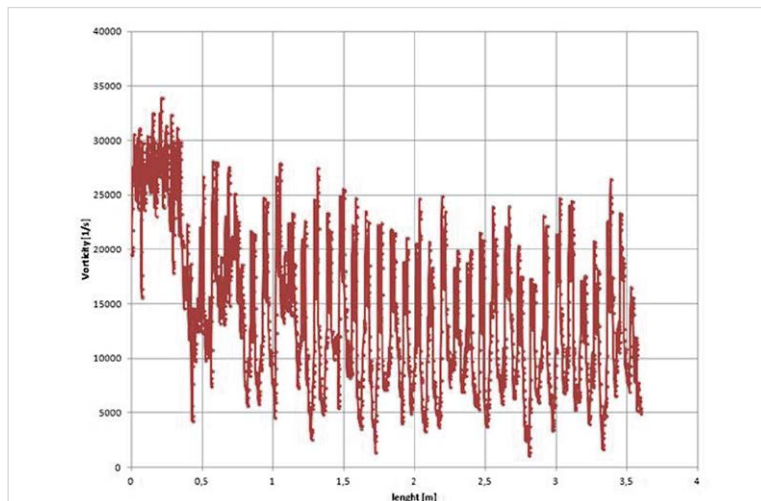


Рис. 3 — График завихренности потока стабилизатора с треугольным профилем в зависимости от длины траектории движения газа по его виткам
 Fig. 3 — The swirling graph of the triangular profile direct-flow stabilizer depending on the gas trajectory length on its coils

Для моделирования закручивания потока использовалось программное обеспечение SolidWorks Flow Simulation. Данная программа была выбрана в связи с удобным интерфейсом, возможностью построения графиков зависимости для различных характеристик потока. А также ввиду возможности работы с многофазными потоками. В частности, в качестве потока ПНГ была взята смесь следующих газов: метан CH_4 , этан C_2H_6 , бутан C_4H_{10} , а также оксидов азота NO_x .

Исходные данные для моделирования потока газа через рельефный завихритель представлены в таб. 1.

Результаты

Гидродинамическое моделирование, проведенное в SolidWorks Flow Simulation, позволило получить влияние профиля завихрителя на закрутку потока (рис. 2).

График завихренности рельефного стабилизатора с треугольным профилем в зависимости от длины траектории движения газа по его виткам представлен на рис. 3. Эти показатели завихренности практически сравнимы с показателями диффузоров. В треугольном профиле наблюдалась картина дополнительного местного вихреобразования в его витках, что и отличает его от остальных профилей.

Гораздо менее эффективным оказался прямоугольный профиль. Показатели завихренности у синусоидального и полукруглого профилей примерно одинаковы, но на последних 3 витках закрутка существенно снижается. Наименее эффективным оказался стабилизатор с трапециевидным профилем.

Параметры закрутки потока ПНГ в

рельефном завихрителе практически не уступают традиционно используемому диффузору. При этом рельефные стабилизаторы конструктивно легче адаптируемыми под параметры потока, например, изменением угла наклона профиля, количества или шага витков и др. методами. Таким образом, дальнейшие исследования рельефных завихрителей актуальны, в частности, определение их оптимальных параметров в зависимости от свойств газового потока и соответственная автоматизация управления подобной системой. Также большой интерес представляет конструирование и исследование гибридной системы стабилизатора, в которой используется диффузор с нанесенным на него рельефом.

Итоги

С помощью имитационного моделирования газового потока в модуле Flow Simulation была подтверждена гипотеза о том, что для стабилизации потока в газовых двигателях можно эффективно использовать прямочные завихрители потока.

Также были проанализированы различные профили сечения прямочных стабилизаторов. Было выявлено, что для лучшего перемешивания потока целесообразно использовать стабилизатор с треугольным профилем.

Выводы

С помощью имитационного моделирования газового потока в модуле Flow Simulation авторами статьи была подтверждена гипотеза о том, что для стабилизации потока в газовых двигателях можно эффективно использовать прямочные стабилизаторы (завихрители)

потока, поскольку параметры закрутки потока практически не уступают традиционно используемому диффузору.

Проанализированы различные профили сечения прямочных стабилизаторов. Были получены следующие максимальные параметры завихрения для профилей: треугольный — 34000 1/с; трапециевидный — 9600 1/с; полукруглый — 13100 1/с; синусоидальный — 13800 1/с; прямоугольный — 15200 1/с. Было выявлено, что для лучшего перемешивания потока целесообразно использовать стабилизатор с треугольным профилем, так как он обладает лучшими показателями завихренности.

Литература

- ГОСТ 7.1 – 2003 1. Филиппов А.А. Попутный нефтяной газ — “попутка” или ценный ресурс? // Нефть, газ и бизнес. 2009. №12. С. 27–33.
- Разбойников А.А., Барсуков Н.С. Метод определения способа утилизации попутного нефтяного газа // Экспозиция Нефть Газ. 2019. №3. С. 66–70.
- Гольдинер А.Я., Цыркин М.И., Бондаренко В.В. Газопоршневые электроагрегаты. Санкт-Петербург: Галей Принт, 2006. 240 с.
- Митрофанова О.Д. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок. М.: Физматлит, 2010. 287 с.
- Karuppusamy P., Senthil Dr.R. Design, analysis of flow characteristics of catalytic converter and effects of backpressure on engine performance // International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology, 2013, issue 1, pp. 10–16.

Relief swirlers for gas engine-compressor units

Authors

- Eduard A. Petrovsky — Sc.D., professor; petrovsky_quality@mail.ru
 Kirill A. Bashmur — senior lecturer; kbashmur@sfu-kras.ru
 Yuliya A. Geraschenko — graduate student; geraschenko.iul@yandex.ru
 Vadim A. Makolov — graduate student; vadik0597@yandex.ru
 Yuliya N. Shadchina — graduate student; ulia.sh72@yandex.ru

Department of “Oil and Gas Technological Machines and Equipment” FGAOU VO “Siberian Federal University”, Oil and Gas Institute, Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract

A gas flow swirler is provided in the combustion chamber of piston and turbine gas engines for compressor installations. Unlike standard diffuser flow swirlers that have highlighted drawbacks, the article proposes and investigates with the help of the SolidWorks Flow Simulation program module of a hydrodynamic modeling direct-flow swirler with a helical relief. It is shown that the relief swirl can stabilize and mix the flow no less effectively, and probably better than a diffuser. From the point of view of the effectiveness of the flow swirling, various profiles of the relief of the swirler are considered, with a triangular profile highlighted.

Materials and methods

A hypothesis concerning the efficiency of using a direct-flow swirler as a flow stabilizer is proposed. Simulation flow modeling in the direct-flow stabilizer is carried out. The simulation was carried out with the help of the

SolidWorks Flow Simulation program module for different geometric profiles of the relief swirler. In terms of flow swirling the most effective flow section of the direct-flow swirler has been revealed.

Keywords

gas turbine engine, gas piston engine, swirl flow, flow stabilization, associated petroleum gas, swirler

Results

Using the gas flow simulation in Flow Simulation Module the authors of the article confirmed the hypothesis that the direct-flow swirlers can be effectively used to stabilize the flow in gas engines since the flow swirling parameters are practically the same as traditionally used diffusers.

Various cross section profiles of the direct-flow stabilizers were analyzed as well. It was revealed that it is advisable to use the triangular profile stabilizer for better flow

mixing as it possesses the best turbulence indicators.

Conclusions

Different cross section profiles devices were obtained in the SolidWorks software complex. Using the gas flow simulation in Flow Simulation Module the authors of the article confirmed the hypothesis that the direct-flow swirlers can be effectively used to stabilize the flow in gas engines since the flow swirling parameters are practically the same as traditionally used diffusers.

Various cross section profiles of the direct-flow stabilizers were analyzed. The following maximum parameters of the profiles swirling: triangular — 34000 1/s; trapezoidal — 9600 1/s; semicircular — 13100 1/s; sinusoidal — 13800 1/s; rectangular — 15200 1/s have been obtained. It was revealed that it is advisable to use the triangular profile stabilizer for better flow mixing as it possesses the best turbulence indicators.

References

1. Filippov A.A. *Poputny gaz — "poputka" ili tcenny resurs?* [Associated gas — «Passer» or valuable resource?]. Oil, gas and business, 2009, issue 12, pp. 27–33.
2. Razboynikov A.A., Barsukov N.S. *Metod opredeleniya sposoba utilizatsii poputnogo neftyanogo gaza* [Method of selecting the method of utilization of associated oil gas]. Exposition Oil Gas, 2019, issue 3, pp. 66–70.
3. Gol'diner A.Ya., Tcyrkin M.I., Bondarenko V.V. *Gazoporshnevye electroagregati* [Gas piston electrical units]. Saint Petersburg: Galleya Print, 2006, 240 p.
4. Mitrofanova O.D. *Gidrodinamika i teploobmen zakruchennykh potokov v kanalakh yaderno-energeticheskikh ustanovok* [Hydrodynamics and Heat Transfer of Swirling Flows in Channels of Nuclear Power Facilities]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 287 p.
5. Karuppusamy P., Senthil Dr.R. Design, analysis of flow characteristics of catalytic converter and effects of backpressure on engine performance // International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology, 2013, issue 1, pp. 10–16.



ООО «ТЕХНОМАШ-МИАСС»

ПЛАТФОРМЫ ПЕРЕДВИЖНЫЕ САМОХОДНЫЕ



ООО «ТЕХНОМАШ-МИАСС» является разработчиком и поставщиком носителей специального технологического оборудования.

ООО «ТЕХНОМАШ-МИАСС» является официальным представителем китайской компании WEIJING DONGSHUN WOWANG RETRO-MASHINERY CO.,LTD по вопросам поставок суммирующих редукторов типа ВСХ на территории РФ и СНГ.

ООО "ТЕХНОМАШ-МИАСС", РОССИЯ, 456300, ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛ.,
Г. МИАСС, ТУРГОЯКСКОЕ ШОССЕ, 7
ТЕЛ./ФАКС: +7(3513)242553, WWW.ТЕХНОМАШ.COM

