

Сатору Гото, Тору Нашимото, Йошифумо Ниши –
Niigata Power Systems Co. Ltd., Япония

Доработка и опыт эксплуатации газопоршневых двигателей серии 22AG

Общая характеристика двигателей серии 22AG

В течение последних 10 лет благодаря улучшенным эксплуатационным параметрам передовые газопоршневые двигатели заняли особое место. Их термический КПД и среднее эффективное давление соответствуют эксплуатационным параметрам дизельных двигателей. При этом содержание NO_x в выхлопных газах обеспечивает соблюдение всех экологических требований.

Сегодня все более актуальными становятся проблемы, связанные с детонацией двигателя, срывом пламени, сроком службы свечей зажигания. Система факельного зажигания газового двигателя с воспламенением от сжатия (при котором газовое топливо является основным, а жидкое лишь в небольшом количестве используется для воспламенения) имеет ощутимые преимущества перед обычной системой искрового зажигания. Она обеспечивает стабильное горение и бесперебойную работу двигателя.

Газопоршневые двигатели серии 22AG компании Niigata Power Systems Co. Ltd., оснащенные системой факельного зажигания, поставляются на рынок Японии с 2002 года.

Они представлены пятью моделями: 6- и 8-цилиндровыми при рядном расположении и 12-, 16- и 18-цилиндровыми при V-образном расположении (табл. 1). В настоящее время заказчикам поставлено более 200 установок на базе двигателей 8L22AG. Причинами такого активного спроса являются высокие эксплуатационные характеристики двигателя, большой срок службы форсунки запального топлива, длительная эксплуатация, не требующая обслуживания и ремонта.

Все двигатели серии 22AG оснащены системой воздушного охлаждения с турбонаддувом и работают на обедненном топливе. Запуск двигателя осуществляется посредством системы искрового зажигания, запатентованной компанией Niigata. Схема системы управления двигателем представлена на рис. 1.

В настоящее время проводятся комплексные исследования по доработке конструкции двигателя с целью повышения термического КПД. Совершенствуется система предкамерного горения и оптимизируется состав топливовоздушной смеси, применяется цикл Миллера с использованием цилиндров, обеспечивающих высокую степень сжатия, и т.д.

Главными направлениями дальнейшего совершенствования двигателей являются улучшение экологических показателей, снижение расхода топлива, а также использование альтернативных видов топлива, в частности биогаза.

Основной задачей при выводе на рынок газопоршневых двигателей, работающих на обедненной топливовоздушной смеси, было достижение низкого уровня NO_x в выхлопных газах, что обеспечивало соблюдение всех экологических норм за счет применения особой технологии горения. Среднее эффективное давление составляло 1...1,3 МПа с приемлемым уровнем детонации. Были значительно улучшены показатели среднего эффективного давления и КПД двигателя серии 22AG (рис. 2). Сегодня на рынок выпускаются большие двигатели с КПД более 43 %, в которых среднее эффективное давление превышает 2 МПа.

Табл. 1. Основные технические характеристики

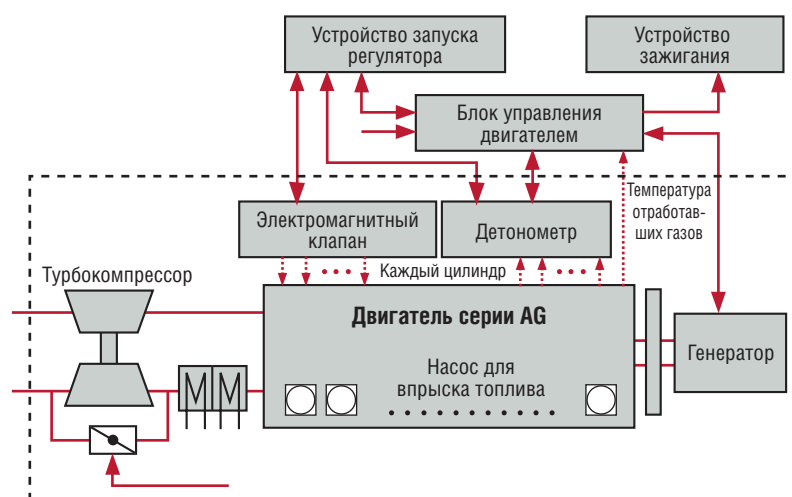
Модель двигателя	6L22AG	8L22AG	12V22AG	16V22AG	18V22AG
Тип	Четырехтактный газопоршневой двигатель с системой воздушного охлаждения и турбонаддувом				
Расположение цилиндров	Рядное		V-образное		
Количество цилиндров	6	8	12	16	18
Диаметр цилиндра, мм	220				
Ход поршня, мм	300				
Рабочий объем, л/цил.	11,4				
Среднее эффективное давление, МПа	1,96				
Мощность при частоте тока 50 Гц (частота вращения 1000 об/мин), кВт	1050	1400	2120	2850	3200
Мощность при частоте тока 60 Гц (частота вращения 900 об/мин), кВт	950	1260	1910	2560	2880
Система зажигания	Факельная (с использованием искрового зажигания при запуске двигателя)				

Улучшение эксплуатационных параметров газопоршневых двигателей серии 22AG, работающих в цикле Миллера, достигается за счет применения современной системы зажигания. В двигателях со стандартной системой срок службы свечей зажигания составляет обычно 1000 – 2000 часов, в то время как новая форсунка двигателей 22AG рассчитана более чем на 4000 часов бесперебойной работы, что, естественно, является большим преимуществом.

Принцип сгорания в двигателе с факельным зажиганием

Существует две разновидности газопоршневых двигателей с системой факельного зажигания: двухтопливный и форкамерный. В качестве запального топлива в них может использоваться дистиллят или дизельное топливо. В двухтопливном двигателе запальное топливо для воспламенения смеси впрыскивается в основную камеру сгорания через форсунку, которая обеспечивает также возможность работы на дизельном топливе. Такой тип двигателя в большинстве случаев применяется в условиях, когда поставка газа нестабильна, а его цена значительно превышает стоимость нефти.

При использовании традиционных систем механического впрыска необходимо, чтобы запальное топливо составляло 8-10 % от общего количества подаваемого в двигатель топлива. При этом концентрация NO_x и твердых частиц в выхлопных газах остается высокой. Таким образом, необходимо использовать систему каталитического подавления выбросов и спе-



циальных фильтров твердых частиц. Техническим решением данной проблемы является использование системы подачи топлива Common Rail.

Рис. 1. Схема системы управления двигателем серии 22AG

Форсунка двигателя находится в форкамере. При этом небольшое количество запального топлива (1 % от общего количества основного топлива) впрыскивается в форкамеру, и топливоздушная смесь воспламеняется с помощью этой дозы. Горящая смесь из форкамеры направляется в камеру сгорания в виде реактивной струи и воспламеняет основное топливо. В газопоршневом двигателе, диаметр цилиндра которого составляет 220 мм, энергия запального топлива составляет около 500 Дж, что значительно больше, чем при искровом зажигании. Уровень NO_x в выхлопных газах остается низким, так как количество за-



Рис. 2. Улучшение показателей среднего эффективного давления и КПД

Рис. 3. Результаты испытаний для определения рабочих характеристик при высокой степени повышения давления

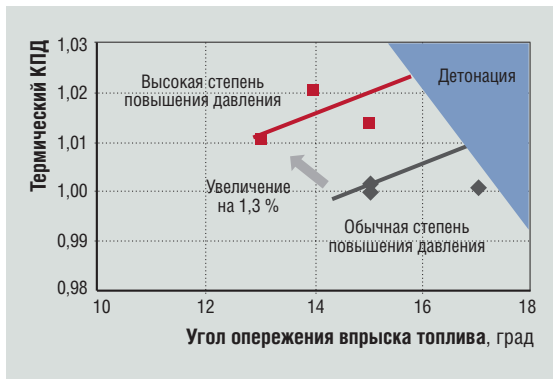


Рис. 4. Профиль кулачка в цикле Миллера

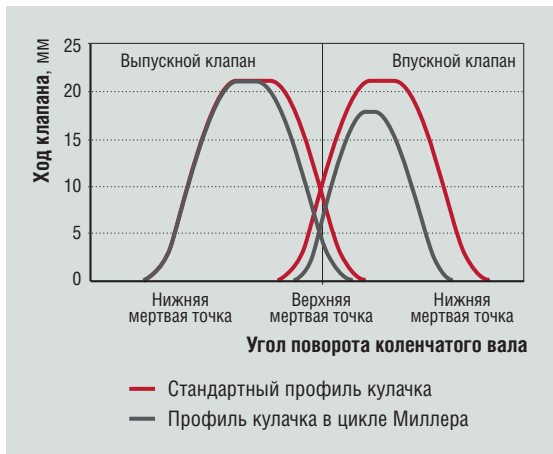


Рис. 5. Результаты эксплуатационных испытаний двигателя в цикле Миллера

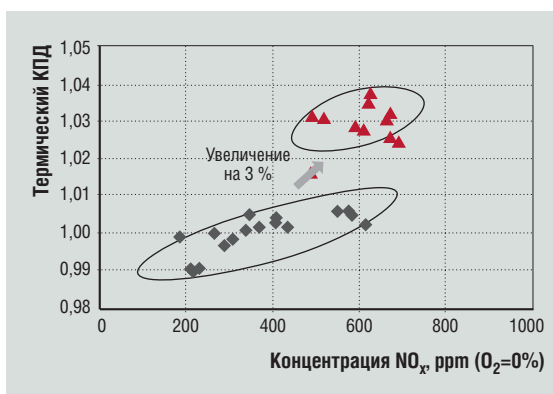
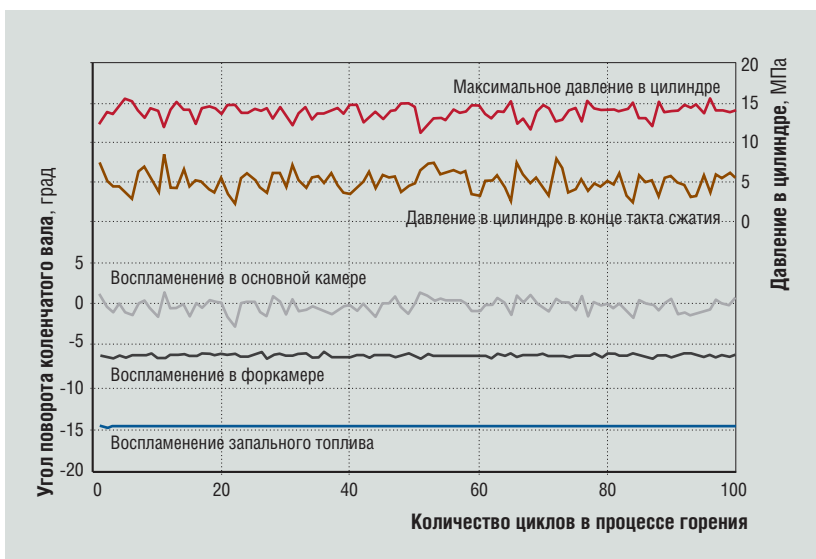


Рис. 6. Давление в цилиндре и частота воспламенения



пального топлива около 1% от потребляемого. Кроме того, достигается более высокая степень сжатия ультраобедненной топливной смеси.

Газопоршневой двигатель с факельным зажиганием может успешно работать на низкокалорийном газе, получаемом при переработке различных отходов, — газе мусорных свалок, сточных вод и на синтез-газе, теплотворная способность которых составляет, соответственно, 21 и 7 МДж/м³. Содержащиеся в синтез-газе водород и угарный газ используются в качестве горючих компонентов. При этом нет необходимости дополнительно использовать при запуске двигателя сжиженный природный газ или пропан.

Технология повышения термического КПД

Высокая степень повышения давления

Известно, что с увеличением степени повышения давления повышается термический КПД. Однако при этом повышается и детонация двигателя. На рис. 3 показана зависимость угла опережения впрыска топлива и термического КПД от степени повышения давления. Можно сделать вывод, что термический КПД при более высокой степени повышения давления и позднем впрыске выше, чем при низкой степени повышения давления с более интенсивным впрыском. Такая технология допускает использование ультраобедненной топливовоздушной смеси. В данном случае содержание воздуха в ней в 2,2 раза больше, чем топлива, что способствует снижению детонации.

Цикл Миллера

Существует два типа цикла Миллера — с ранним и поздним закрытием впускного клапана. В ходе испытаний системы с ранним закрытием на двигателе 6L22AG (рис. 4) было установлено, что в этом случае температура топливовоздушной смеси перед ходом сжатия уменьшается. При этом увеличивается степень повышения давления и, соответственно, запас по детонации. Результаты эксплуатационных испытаний представлены на рис. 5. Термический КПД на валу двигателя увеличился примерно на 3%, что соответствует 1% общего КПД, однако концентрация NO_x в выхлопных газах увеличилась.

В цикле Миллера необходимо использование турбокомпрессора высокого давления, который обеспечит степень повышения давления -3,5. В результате сокращается объем и снижается температура выхлопных газов и, соответственно, уменьшается количество энергии, утилизируемой из выхлопных газов.

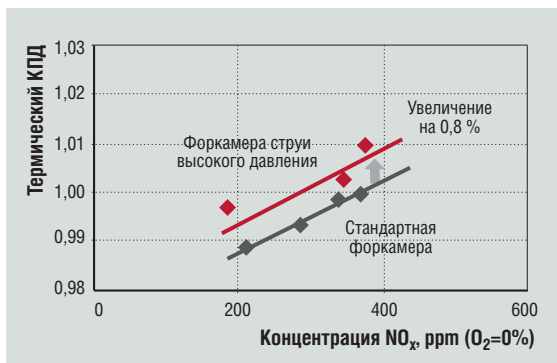


Рис. 7. Результаты измерений термического КПД в форкамере струи высокого давления

Нестабильность процесса горения

Для того чтобы добиться стабильного горения с минимальной детонацией двигателя и получить высокий КПД, необходимо обеспечить минимальное колебание максимального давления. Стабильность горения в цилиндре зависит от протекания процесса горения в форкамере или основной КС.

На рис. 6 представлены результаты измерения давления в каждой камере и параметры впрыска запального топлива. Момент зажигания в них практически совпадает. Колебание давления увеличивает время горения в форка-

мере при угле поворота коленчатого вала менее одного градуса, а также в основной камере при угле поворота 6 градусов. Пульсация в процессе горения вызвана колебаниями давления при возгорании смеси в основной камере сгорания. Причиной нестабильности горения также может быть изменение состава и/или неоднородный состав топливной смеси на каждом этапе горения.

Форкамера

Чтобы улучшить процесс горения в основной камере, необходимо оптимизировать поток струи горячей смеси, поступающий из форкамеры в основную КС. Такая технология оптимизации форкамеры была испытана на прототипе двигателя 6L22AG. Струя высокого давления из форкамеры быстро поступает в основную камеру сгорания через увеличенный канал. Результаты измерений термического КПД и концентрации NO_x в процессе испытаний представлены на рис. 7: видно, что КПД увеличился на 0,8%, а уровень NO_x остался прежним. Новая модель была названа форкамерой струи высокого давления.

Продолжение в следующем номере