Натуральный газ
для дизельного двигателя

М.В. Белошицкий – ООО «Турбомашины»
П.А. Павлов – Altronic, Inc.

Технологическая схема, реализованная компанией Altronic, Inc., позволяет сохранить все достоинства дизельных двигателей при значительной экономии дизельного топлива за счет замещения большей его части натуральным газом.

Простота конструкции и, как следствие, надежность – два основных критерия, по которым дизельный двигатель не имеет себе равных. Важно также отметить «уверенный» прием нагрузки за один шаг, способность «холодного» пуска и короткий период готовности к приему нагрузки. Но вместе с тем, значительная стоимость дизельного топлива и высокий уровень вредных выбросов заставляют искать альтернативу дизельному двигателю при использовании его в качестве промышленного силового агрегата.

Газовый двигатель с точки зрения стоимости топлива кажется более привлекательным, но присутствие высоковольтных элементов системы зажигания делает его менее надежным и более трудоемким и дорогим в обслуживании. Низкая энергетическая плотность газообразного топлива не позволяет добиться высокой удельной мощности и приема нагрузки достаточной величины за один шаг.

Идея использовать воспламенение от сжатия для розжига газовоздушной рабочей смеси не является новой, но в чистом виде ее нельзя реализовать. Это связано с тем, что температура в цилиндрах двигателя в конце такта сжатия недостаточна для воспламенения газа и рабочей смеси на его основе. Дизельное же топливо даже в малых количествах «надежно» воспламеняется при температуре 600...700 °С, достигаемой в цилиндрах в конце такта сжатия, и может служить своеобразным дизельным запальником для розжига обедненной газовоздушной смеси.

Технологическая схема, запатентованная и реализованная компанией Altronic, Inc., позволяет сохранить все достоинства дизельных

двигателей при значительной экономии дизельного топлива за счет замещения большей его части (до 80%) натуральным газом.

Двухтопливная система компании Altronic, Inc. – это комплект оборудования для доставки натурального газа в цилиндры дизельного двигателя при различных режимах работы, мониторинга параметров двигателя и самой системы. Она обеспечивает эксплуатацию дизельного двигателя в двухтопливном режиме (одновременное потребление дизельного топлива и натурального газа) при сохранении всех рабочих параметров в заданных пределах, а также плавный возврат двигателя в режим потребления 100% дизельного топлива (как по команде оператора, так и автоматически).

Мощность двигателя после установки двухтопливной системы не снижается. В зависимости от заданных параметров он по-прежнему поддерживает необходимый уровень выходной мощности (вплоть до максимальной) либо в двухтопливном, либо в дизельном режиме. Характеристики процесса горения углеводородной смеси и дизельного топлива могут значительно различаться. На малых нагрузках доля газа в составе топлива может быть больше.

При больших нагрузках двигателя доля газа в составе топлива будет ограничена уровнем детонации. Вместо снижения нагрузки в двухтопливном режиме можно отрегулировать количество газа, подаваемого в камеру сгорания, чтобы избежать детонации газовоздушно-дизельной смеси. Обычно двухтопливная система настраивается в процессе ввода двигателя в эксплуатацию, чтобы заданное соотношение газ/дизельное топливо обеспечивало надлежащее сгорание при максимальных нагрузках в привычных условиях эксплуатации.

Например, если генератор обычно нагружается до 75% от номинала, следует подбирать соотношение компонентов газ/дизельное топливо при этом уровне нагрузки, не превышая заданные пределы детонации (а также и другие пределы, такие как температура отработавших газов, температура и давление воздуха в коллекторе и т. д.). С уменьшением нагрузки до минимальных значений, заданных для двухтопливного режима с помощью панели управления, соотношение компонентов газ/дизельное топливо обычно сохраняется в пределах ±5%. Кроме нагрузки двигателя, при настройке следует учитывать влияние и таких факторов, как качество газа, температура во впускном коллекторе (в связи с температурой окружающей среды и средствами охлаждения воздуха после турбокомпрессора), высота над уровнем моря, состояние двигателя. Обычное противодействие влиянию вышеизложенных факторов – не уменьшение нагрузки двигателя, а изменение соотношения газ/дизельное топливо.

Конструктивно в состав двухтопливной системы входят газовая магистраль (фильтр, регулятор «нулевого давления» и двойной модульный клапан), регулятор расхода газа и газовоздушный смеситель, а также датчики разрежения, давления, температуры и вибрации (всего 7). Панель управления построена на основе патентованного контроллера DE-2510 собственного производства. Тактильная клавиатура служит пользовательским интерфейсом для общения с системой, на жидкокристаллический дисплей выводится информация о значениях параметров и состоянии системы.

Установка двухтопливной системы сама по себе не может привести к изменению рабочих характеристик двигателя. Влияние газовоздуш-

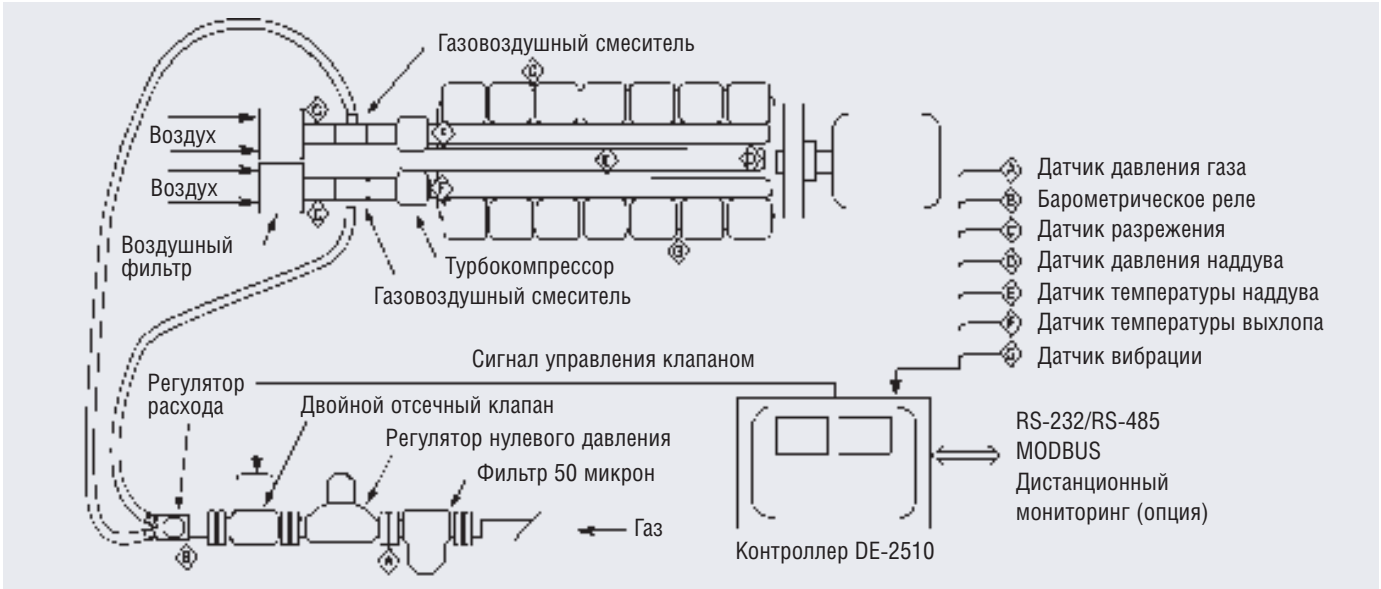


Рис. 1. **Состав двухтопливной системы**

ных смесителей двухтопливной системы на параметры воздушного потока весьма незначительно, т.е. двигатель по-прежнему всасывает необходимое количество воздуха. Все остальные компоненты двухтопливной системы (датчики, газовая магистраль, приборы и т. д.) устанавливаются на двигатель извне и не оказывают никакого влияния на его работу. Рабочие характеристики двигателя в 100%-м дизельном режиме (с установленной двухтопливной системой) практически полностью идентичны характеристикам двигателя до модернизации. Значения таких параметров, как температура отработавших газов, объем всасываемого воздуха, температура воздуха во впускном коллекторе, удельный расход топлива, почти не изменяются.

Теплотворная способность натурального газа

Натуральный газ (не синтетический) имеет значительно меньшую энергетическую плотность, чем дизельное топливо, если сравнить эквивалентные объемы жидкого дизельного топлива и натурального газа при атмосферном давлении. Но двухтопливная система способна компенсировать это различие, перемешивая газ с воздухом до входа в турбокомпрессор. Газовоздушная смесь сжимается в турбокомпрессоре, что приводит к значительному увеличению ее энергетической плотности. Давление во впускном коллекторе (наддув) в современных двигателях может достигать более 200 кПа – этот уровень сжатия позволяет двухтопливной системе восполнять до 80% общего потребления топлива с помощью стандартной газовой магистрали.

Описание системы

Теоретической основой для построения системы является метод фумигации. Суть его заключается в равномерном распределении молекул газа в объеме поступающего в двигатель воздуха.

Для реализации метода в состав двухтопливной системы входит патентованный газовоздушный смеситель. Конструкция обеспечивает тщательное перемешивание молекул газа и воздуха, за счет чего достигается равномерное и полное сгорание газовоздушной рабочей смеси.

Существуют две разновидности двухтопливной системы – стандартная, которая регулирует подачу газа в зависимости от количества всасываемого двигателем воздуха, и дополнительная – динамической подачи газа (ДПГ). Система ДПГ предназначена для двигателей, работающих в динамическом режиме. Она хранит в памяти таблицу данных о расходе топлива и обеспечивает оптимальное соотношение газ/дизельное топливо во всем диапазоне нагрузок. Система ДПГ использует измеритель выходной мощности генератора как индикатор нагрузки, а также постоянно контролирует расход дизельного топлива. Для изменения соотношения компонентов топлива между регулятором нулевого давления и газовоздушным смесителем дополнительно установлен клапан переменного давления, который управляется контроллером на основе данных о состоянии системы.

Двухтопливный режим существенно не изменяет соотношение воздух/дизельное топливо. При максимально допустимом замещении (80%) концентрация газа во всасываемом воздухе обычно меньше 3% (объемных), что значительно ниже 5%-го нижнего взрывоопасного предела метана. Благодаря обедненному составу газовоздушного заряда, вероятность воспламенения во впускной трубе ничтожно мала.

Система совместима с различными видами топлива на основе метана, например с магистральным природным и попутным газом, биогазом, автоклавным газом. Такие углеводородные газы, как пропан и бутан, непригодны в чистом виде для двухтопливного режима работы в связи с неблагоприятными характеристиками процесса их горения.

Качество и состав газа – очень важные факторы для эксплуатации двигателя в двухтопливном режиме. В идеальном случае магистральный природный газ должен иметь высокое содержание метана и низкую общую концентрацию тяжелых углеводородов (*табл. 1*). При использовании газа более низкого качества, возможно, потребуется изменить режим работы двигателя и (или) уменьшить долю газа в составе топлива.

Двухтопливная система предназначена для приводов электрогенераторов, насосов, компрессоров и других установок промышленного назначения, работающих с постоянной частотой вращения. Двигатели с переменной частотой также могут быть дооборудованы двухтопливной системой, если позволяет их система управления и режим работы. Двухтопливная система рассчитана на длительную работу, например в составе основных источников электроэнергии или в насосных установках на нефтяных месторождениях.

Система построена по «расширяемой» технологии и может быть адаптирована к двигателям различных классов. Обычно она применяется на высокооборотных (более 1200 об/мин) дизельных двигателях мощностью от 75 до 3000 кВт. К поставке предлагается пять стандартных

Табл. 1. **Состав высококачественного магистрального газа (в объемных %)**

Метан	Этан	Пропан	Бутан	Азот	Углерод	Кислород
97,09	0,88	0,26	0,09	1,41	0,12	-

модификаций системы, каждая из которых рассчитана на определенный диапазон мощности (*табл. 2*).

Принцип действия и характеристики двухтопливной системы

Рабочий процесс в двухтопливном режиме протекает в обычной последовательности «сжатие-воспламенение». Газовоздушная смесь подается в камеру сгорания через впускные клапаны и сжимается в такте сжатия. В связи с недостаточно высокой температурой, самовоспламенения обедненной газовоздушной смеси не происходит – она воспламеняется только в момент впрыска порции дизельного топлива. Скорость горения газовоздушной смеси и давление в камере сгорания сравнимы с характеристиками в 100%-м дизельном режиме. Порция дизельного топлива служит не только источником воспламенения газовоздушной смеси, но также выделяет свою долю энергии в соответствии с заданным соотношением газ/дизельное топливо.

Газ подается в газовоздушный смеситель, установленный между корпусом воздушного фильтра и турбокомпрессором. Регулятор «нулевого давления» обеспечивает необходимый расход газа, поддерживая на выходе нулевое избыточное давление (практически равное атмосферному). Газовоздушный смеситель позволяет подготовить однородную смесь при минимальном возмущении воздушного потока. После выхода из смесителя газовоздушная смесь сжимается в турбокомпрессоре и по впускному коллектору распределяется в цилиндры двигателя. Затем обедненная газовоздушная смесь сжимается в цилиндре и воспламеняется в момент впрыска дизельного топлива (состав смеси и низкая температура исключают преждевременное воспламенение). Количество газа, поступающего в двигатель, зависит от нагрузки и изменяется в соответствии с изменениями воздушного потока.

При построении системы реализована вакуумная схема управления подачей газа, при которой изменение воздушного потока приводит к изменению количества газа, поступающего в двигатель. Эта технология позволяет регулировать количество топлива, подаваемого в камеру сгорания, не влияя при этом на работу системы управления дизельным двигателем.

Регулирование оборотов двигателя остается привилегией штатной системы управления. По мере поступления газа в цилиндры двигателя регулятор определяет незначительное увеличение скорости вращения, так как в этот момент топлива поступает больше, чем требуется при данной нагрузке. Чтобы сохранить заданную частоту вращения, регулятор быстро подстраивает положение «топливной рейки», выдерживая заданные обороты двигателя при замещении дизельного топлива природным газом. Двухтопливная система совместима с электромеханическими и гидравлическими регуляторами оборотов двигателя, а также с электронными системами впрыска топлива.

Параметры двигателя при работе в двухтопливном и дизельном режиме различаются незначительно. Количество теплоты, отводимое системой охлаждения и отработавшими газами, остается в пределах нормы.

Основные компоненты системы

Основные компоненты системы газоснабжения – газовая магистраль, регулятор расхода газа и газовоздушный смеситель, установленный на входе в турбокомпрессор.

Газовая магистраль (*фото 1*) состоит из газового фильтра, регулятора нулевого давления и соленоидного электроклапана. Она принимает газ низкого давления в диапазоне 7...35 кПа и подает его в двигатель под давлением, примерно равным атмосферному.

Газовый фильтр служит для защиты магистрали и двигателя от твердых загрязняющих веществ, которые могут присутствовать в газовом потоке. В корпусе фильтра выполнены два резьбовых отверстия (до и после фильтрующего элемента), предназначенных для замера перепада давлений на фильтре. Следует отметить, что газовый фильтр не предназначен для первичной

Табл. 2. **Типоразмеры и комплектность двухтопливной системы**

Компоненты системы	Серия A	Серия I	Серия II	Серия III	Серия IV
Мощность двигателя, кВт	150	150…300	300…650	650…1200	1200..3000
L-образный двигатель: – газовоздушный смеситель – регулятор расхода (одинарный)	1x5" 1,5"	1x5" 1,5"	1x6" 1,5"	1x6" 1,5"	1x10" 3"
V-образный двигатель: – газовоздушный смеситель – регулятор расхода (сдвоенный)	нд	нд	2x6" 2,5"	2x6" 2,5"	2x7" 3"
Газовая магистраль *	1"NPT	2"NPT	DN65	DN65	DN80
Модификация панели управления	500	1000	1000	2000	2000
Термопары с адаптерами	2	2	2	2-4	2-4
Датчики давления	3	3	3	3-7	3-7
Барометрическое реле	-	1	1	1	1
Датчики вибрации	-	по заказу	по заказу	2	2
Система динамической подачи газа	нд	по заказу	по заказу	по заказу	по заказу

** Газовая магистраль включает в себя газовый фильтр, регулятор нулевого давления, двойной отсечный клапан, соединительные фланцы и крепежные детали.*

Фото 1. **Газовая магистраль**

фильтрации газа – поступающий газ должен быть предварительно очищен.

Регулятор нулевого давления (РНД) выполнен в виде литого алюминиевого корпуса, в котором находятся рабочие диафрагмы, регулируемая пружина для корректировки выходного давления и предварительно нагруженная возвратная пружина. Корректируя расход газа, регулятор поддерживает заданное (нулевое избыточное) давление на выходе. При изменении величины разрежения во впускной трубе двигателя РНД увеличивает или уменьшает поток газа таким образом, чтобы поддерживать установленное давление на выходе.

Двойной модульный клапан (ДМК) – это закрытый двухступенчатый клапан, управляемый напряжением 12/24 В постоянного тока. При подаче сигнала с пульта управления клапан первой ступени открывается мгновенно, а клапан второй ступени – медленно (около 30 секунд). Это позволяет системе поддерживать стабильность работы двигателя в процессе перехода к двухтопливному режиму. При отмене сигнала обе ступени ДМК закрываются мгновенно, и двигатель немедленно переходит в режим потребления 100%-го дизельного топлива.

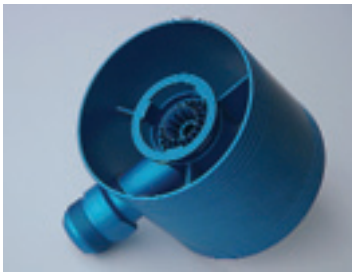
Регулятор расхода газа (РРГ) конструктивно представляет собой регулятор «седельного» типа, состоящий из регулировочного резьбового винта и седла (*фото 2*). При настройке задается величина зазора в корпусе регулятора расхода – в результате ограничивается максимальный расход газа во всем диапазоне нагрузок двигателя. Используя регулировочный резьбовой винт, оператор устанавливает желаемое соотношение газа и дизельного топлива. Для двигателей, которым требуются два газовоздушных смесителя, поставляется «сдвоенный» РРГ, состоящий из трех отдельных резьбовых винтов (первичный и два вторичных для корректировки газового потока в каждый ряд цилиндров).

Газовоздушный смеситель (ГВС) – это прибор «равного сопротивления», в конструкции которого нет подвижных элементов (*фото 3*). Он устанавливается между корпусом воздушного фильтра и турбокомпрессором.

Воздух, поступающий в ГВС, обтекает секцию диффузора, образуя турбулентную область низкого давления, которая втягивает газ в диффузор. Через структуру радиальных каналов, выполненных с высокой точностью в выходной части сопла, газ подается в турбулентный воздушный поток сразу за диффузором. Смеситель обеспечивает высокую степень перемешивания двух сред при минимальном возмущении воздушного потока.

Фото 2. **Сдвоенный регулятор расхода газа**

Фото 3. **Газовоздушный смеситель**



Приборы управления и контроля

Двухтопливная система поставляется с электронной панелью управления, которая контролирует и отображает ключевые параметры двигателя и самой системы. Анализируя сигналы различных датчиков и заданные параметры, панель активирует или деактивирует двухтопливный режим.

В число контролируемых параметров входят: температура отработавших газов, температура и давление воздуха в коллекторе, разрежение во впускной трубе и уровень вибрации двигателя. Кроме того, контролируется рабочее давление газа на входе в газовую магистраль и давление на выходе из регулятора нулевого давления. Светодиоды на панели управления позволяют визуально контролировать состояние системы. Если панель управления обнаруживает какое-либо нарушение, двухтопливный режим деактивируется и двигатель переводится в 100%-й дизельный режим.

Контроллер серии DE производства компании Altronic, Inc. – микропроцессорный модуль, предназначенный для управления двухтопливной системой на основе цифровых и аналоговых входных сигналов. С помощью персонального компьютера (ПК) и программы, входящей в комплект поставки, модуль DE программируется для различных конфигураций системы. Заданные параметры сохраняются в энергонезависимой памяти. Серийные разъемы предназначены для подключения ПК или модема. Четырехстрочный жидкокристаллический дисплей отображает состояние системы, адреса каналов и заданные параметры. Тактильная клавиатура служит для управления системой. DE-контроллер управляет подачей газа, а в версии ДПГ регулирует оптимальное соотношение компонентов топлива на различных режимах

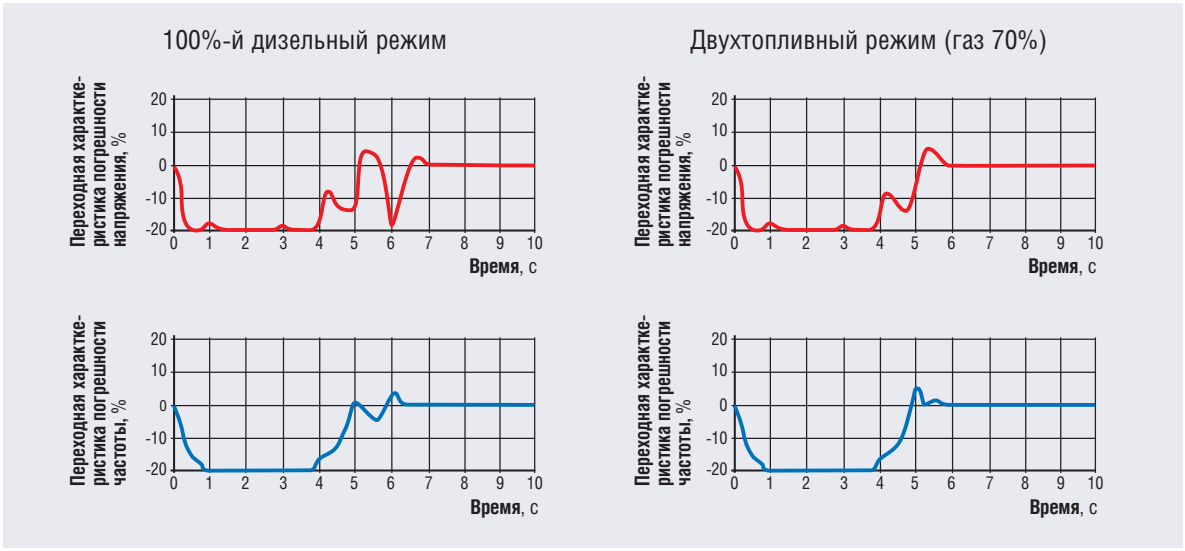


Рис. 2. **Типичная реакция двигателя на 100%-й наброс нагрузки**

работы. Кроме того, контроллер обеспечивает связь и передачу данных в систему дистанционного мониторинга.

Допустимое соотношение компонентов газ/дизельное топливо

Состав газа, нагрузка двигателя, температура воздушного заряда, условия окружающей среды – все это определяют допустимое соотношение компонентов газ/дизельное топливо. Доля газа обычно ограничивается пределом детонации газовоздушной смеси при данной нагрузке двигателя. Обычно при умеренных нагрузках двигателя можно довести долю газа высокого качества до 65-75%. Газ низкого качества, предельные нагрузки двигателя, высокая температура воздушного заряда и высота над уровнем моря (либо комбинация этих факторов) обычно приводят к ограничению доли газа до 50-65%.

Характеристики двигателя при работе в двухтопливном режиме

Устойчивость двигателя и реакция на внезапный наброс нагрузки при работе в двухтопливном режиме сохраняются на том же уровне, что и в дизельном (*рис. 2*).

Количество отводимого тепла при работе в двухтопливном режиме почти такое же, как и при 100%-м дизельном режиме. Температура отработавших газов, охлаждающей жидкости, масла и температура воздуха во впускном коллекторе остаются в пределах, предписанных производителем двигателя.

Благодаря тому что устройства смесеобразования двухтопливной системы имеют низкое сопротивление и поддерживают рабочий процесс с избытком воздуха, производительность двигателя (удельный расход топлива), как правило, такая же, как и в дизельном режиме.

При работе двигателя в двухтопливном режиме используется смазочное масло, указанное в спецификации (если не отмечено влияние состава газа). В процессе сгорания натурального газа образуется минимальное количество твердых частиц, поэтому смазочное масло дольше сохраняется чистым. В связи с этим возможно увеличение интервалов замены масла и масляного фильтра, а также межремонтных интервалов. Однако окончательное решение следует принимать только после полного анализа смазочного масла.

Модернизация двигателя и гарантии

Затраты времени на модернизацию зависят от сложности проекта. Обычно для модернизации небольших двигателей достаточно одного – двух дней, для более мощных – два или три дня. В том и другом случае потребуется не более двух специалистов.

Установка двухтопливной системы не влияет на заводскую гарантию на двигатель. Поскольку в его конструкцию не вносится никаких изменений, производители двигателей готовы сохранять действие гарантии и после дооборудования, хотя и не будут нести ответственность за отказы, связанные с применением двухтопливной системы. Базовые компоненты системы, в том числе газовоздушные смесители, электронные контроллеры и составные части газовой магистрали, обеспечены двухгодичной гарантией. Электронные датчики, переключатели и термопары имеют гарантию на один год. ■

altronic inc.
117049, Россия, Москва,
ул. Мытная, д. 3, оф. 41
Тел. +7 495 755 36 53
Факс +7 495 502 92 86
E-mail: info@altronic.ru
www.altronic.ru