

Крупнейшая газопоршневая ТЭС в России

А. А. Никитин, М. Б. Губашов – ООО «Вяртсиля Восток»

Якоб Климстра – Wärtsilä Corporation

Высокоманевренная газопоршневая ТЭС на базе современных энергоблоков Wärtsilä 18V50SG полностью обеспечит потребности в электрической и тепловой энергии Тихвинского вагоностроительного завода и близлежащих предприятий г. Тихвина (Ленинградская обл.). Применение технологии Smart Power Generation позволяет максимально эффективно использовать оборудование и значительно экономить топливо для энергетических установок. Станция будет базовым энергоисточником для промышленных предприятий Тихвинской промплощадки.

In brief

The largest power plant based on reciprocation engines in Russia.

The stationary power plant is equipped with 6 gas fired engines of the Wärtsilä 18V50SG type. The total output of the power plant specified at the generator terminal is 110,151 kW.

The equipment will be ready for shipment from the factory in March 2014.

The customer is Transmashenergo.

There will be three stages of the project realization: first phase of 110 MW to be completed in 2014; installation of heat recovery equipment will be carried out in 2015; second block of 110 MW will be commissioned in 2020, if it is necessary.

Тихвинский вагоностроительный завод, в модернизацию которого группа «ИСТ» инвестировала более \$1 млрд, уникален для российского машиностроения как в технологическом плане, так и по масштабам строительства. В 2008–2011 гг. он был самым крупным строящимся промышленным объектом в Европе и сегодня является лидером вагоностроения в России.

Высокотехнологичное производство с применением зарубежных технологий весьма чувствительно к нарушениям электроснабжения. Обеспечить требуемый уровень надежности и качества электроснабжения в условиях изношенности основных сетей становится сложно при модернизации промышленных объектов. Группа «ИСТ» приняла решение провести модернизацию существующей котельной с сооружением ТЭС мощностью 220 МВт. Проект реализуется инжиниринговой компанией «ИСМ» – совместным предприятием группы «ИСТ» и холдинга Baran Group Ltd. (Израиль).

Заказчик не имел предпочтений по типу основного оборудования, поэтому специалисты «ИСМ» выбирали его исходя из производственных задач. Традиционным для станций такого масштаба был выбор между ГТУ–ТЭС и паро-

газовой установкой теплофикационного типа, но в итоге остановились на газопоршневых энергоблоках. Запуск электростанции планируется осуществлять последовательно в три этапа: в 2014 г. будет построена первая очередь мощностью 110 МВт, в 2015-м – ввод в строй теплового контура мощностью 90 МВт, в 2020-м будет введена третья очередь на 110 МВт (рис. 1).

Для проекта были выбраны газопоршневые агрегаты Wärtsilä 18V50SG электрической мощностью 18,3 МВт, тепловой – 18 МВт. Электрический КПД энергоблоков составляет 48 %, суммарный – более 90 %. Компания Baran уже имела опыт работы с высокоманевренными энергоблоками большой мощности. Более 10 лет назад в США, где Baran Group осуществляла проекты с ВИЭ, было введено несколько электростанций единичной мощностью свыше 200 МВт на базе установок Wärtsilä для компенсации потери мощности ВЭС.

Высокоманевренные станции на базе газопоршневых установок, обеспечивающие быстрый запуск, набор полной мощности за 5–10 мин и быстрый сброс, работу на частичной нагрузке, хорошо приспособлены для систем с переменными нагрузками (рис. 2). Эта технология применена и в Тихвине. Наличие металлургического производства с большими электродуговыми печами определяет график нагрузки. Резкие скачки, работа в режиме неполной нагрузки (до 40 %) – в этих условиях наиболее эффективны газопоршневые установки.

По словам руководителя энергетического направления группы «ИСТ» В. Жадана, «компания Wärtsilä продемонстрировала технические и экономические преимущества своей технологии, представив реализованные по всему миру проекты. Кроме того, взаимодействие с единым поставщиком, предлагающим комплексное решение, экономит время и расходы».

В зону ответственности компании Wärtsilä входит проектирование, подготовка рабочей



Рис. 1. 3D-модель газопоршневой ТЭС в г. Тихвине

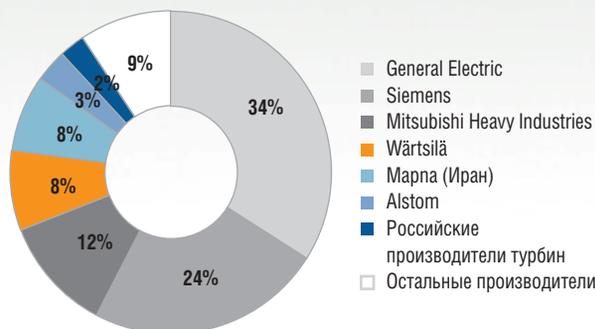
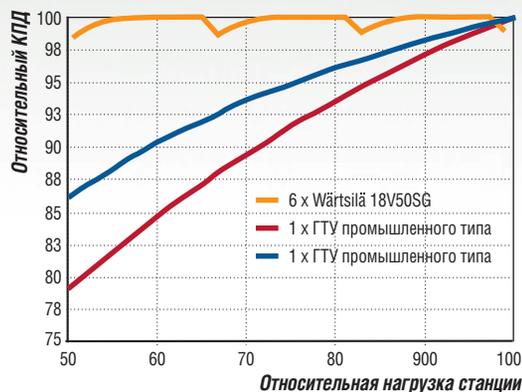


Рис. 2. Изменение КПД станции при частичной нагрузке

Рис. 3. Wärtsilä и крупнейшие поставщики газовых турбин. Заказы на электростанции мощностью до 500 МВт в период 2009 г.–1 кв. 2013 г. Всего 155,3 ГВт

документации и поставка генераторных установок со вспомогательными системами. В объем поставки входит оборудование автоматики и управления, электрическая система, а также легкосборное здание машинного зала в комплекте с выхлопными трубами, оснащенными катализаторами для регулирования уровня эмиссии CO₂. Компания также обеспечит поддержку при монтаже и вводе станции в эксплуатацию, обучение персонала.

Инвестиционные показатели проекта привлекательны: при сопоставимой с парогазовыми установками топливной эффективности, но при более низких капитальных затратах модульные энергоблоки Wärtsilä обеспечивают более короткие сроки строительства. Компания имеет большой опыт реализации проектов многоагрегатных электростанций (рис. 3). Завершить строительство первой очереди планируется до конца 2014 года. К этому времени группа «ИСТ» должна развернуть локальную энергосистему с элементами технологии Smart Grid, обеспечивающими адаптивность управления, в которую легко вписываются генерирующие мощности на базе ГПУ.

Интеллектуальное производство энергии – Smart Power Generation

Интеллектуальное производство энергии – это новая концепция, позволяющая эксплуатировать существующую энергосистему с максимальной эффективностью благодаря исключительно высокому компенсированию колебаний существующей и будущей нагрузки системы, обеспечивая таким образом значительную экономию средств.

Wärtsilä является лидером в интеллектуальном производстве энергии. Базовая концепция Smart Power Generation представлена на рис. 4. Технологии поршневых двигателей и технические решения по ГПЭС Wärtsilä обеспечивают уникальное сочетание функций, которое открывает новые возможности для создания в будущем безопасных, надежных и рентабельных национальных энергосистем.

Существует целый ряд способов для обеспечения баланса энергосистем. Там, где это возможно, используются гидроэлектростанции. Аналогичным образом энергосети с использованием интеллектуальных систем позволяют переключать нагрузку в пиковые периоды, а существующие электростанции регулируют выдаваемую мощность. Но в большинстве случаев это только частично решает проблему.

При оснащении энергосистем установками SPG (Smart Power Generation) на базе поршневых двигателей Wärtsilä все проблемы с балансом нагрузок и компенсированием мощности можно решить. Причем это возможно даже при наличии в системе большого количества электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии. Установки SPG, обеспечивающие максимальную гибкость в эксплуатации, оперативно реагируют на изменение ситуации в энергосетях. Возможность эффективно работать в любых режимах – от базового до пикового, а также оперативно компенсировать недостаток мощности обеспечивает стабильный баланс энергосети.

Необходимое количество пусков и остановов выполняется нажатием одной кнопки, не влияя на регламент технического обслуживания и сроки службы до капитального ремонта и до списания. SPG начинают вырабатывать мегаватты электроэнергии в сеть в течение одной минуты с холодного пуска и выходят



Рис. 4. Базовая концепция Smart Power Generation компании Wärtsilä для Smart Grid



Рис. 5. Схема интеллектуального производства энергии

на номинальную мощность в течение 5 мин. Они обеспечивают постоянный горячий резерв, оптимальное следование нагрузке и быстрое покрытие пиковых нагрузок. Схема работы электросистемы с технологией Smart Power Generation представлена на рис. 5.

Стандартные установки SPG имеют готовность на уровне 95 %, надежность – 97 % и надежность пусков – 99 %. Они являются наиболее эффективными для обеспечения энергобаланса в сети. Кроме того, высокие экологические показатели по уровню эмиссии и шума позволяют устанавливать их в непосредственной близости к потребителю, а модульная конструкция SPG обеспечивает быстрый монтаж и ввод в эксплуатацию. Требования к необходимой инфраструктуре также минимальны: крайне низкий или нулевой расход технологической воды (применяется радиаторное охлаждение) и низкий уровень давления топливного газа – 0,5 МПа.

Эффективность газопоршневых двигателей большой мощности

Эффективность двигателей простого цикла на природном газе, доступных на рынке, колеблется от 38 до 48 %, в зависимости от диаметра цилиндра и удельной нагрузки. Такие параметры достаточно привлекательны для базовой выработки электроэнергии в когенерационном цикле, а также для обеспечения пиковой мощности. Достигнуть топливной эффективности почти 50 % в простом цикле могут только двигатели с цилиндрами большого диаметра. Добавив комбинированный цикл, можно повысить КПД до 55 %.

В большинстве пособий по термодинамике рассматривается идеализированный стандартный воздушный цикл в качестве эталона для эффективности двигателя. В этом цикле поршень сначала обратимо сжимает содержимое цилиндра в адиабатическом и изоэнтропическом процессе. Затем горение происходит при постоянном объеме цилиндра (так называемый изохорический процесс), к тому времени горячая среда расширяется до объема перед сжатием. Во время последующего изохорического процесса выхлопа давление в цилиндре возвращается к первоначальному значению.

Эффективность адиабатического цикла составляет примерно 59 %. Фактический процесс реального двигателя никогда не будет адиабатическим, т.е тепло будет вытекать из рабочего тела в цилиндре через стенки камеры сгорания.

Для двигателей небольшого размера без наддува применяется эмпирическое правило, что при полной нагрузке треть энергии топлива переходит во вращение вала двигателя, треть уходит в теплоноситель и треть уходит через выхлоп. Потери тепла в теплоноситель затем делятся на три составляющие: потери в процессе сгорания топлива, через стенки цилиндра в процессе расширения и передаваемые охлаждающей жидкости в процессе выпуска.

Газопоршневой двигатель с турбонаддувом и цилиндрами большого диаметра имеет, условно говоря, гораздо меньший тепловой поток из рабочего тела в цилиндре. В качестве примера на рис. 6 приведен энергетический баланс 20-цилиндрового двигателя с диаметром цилиндра 34 см, степенью повышения давления 20 и мощностью на валу 9,73 МВт.

Суммарный измеренный потока тепла от контура охлаждающей жидкости и от смазочного масла составит 11,4 % (6,5 + 4,9). Чтобы получить общий поток тепла к маслу и охлаждающей жидкости, должно быть добавлено излучение от блока двигателя, которое оценивается в 1,1 % энергии топлива. При этом следует иметь в виду, что потери на трение



Рис. 6. Энергетический баланс газопоршневого двигателя мощностью 9,73 МВт; диаметр цилиндра 34 см, частота вращения вала 750 об/мин

также проявятся в виде тепла в смазочном масле и охлаждающей жидкости – это 10 % по мощности на валу, т.е. 4,6 % энергии топлива появляется в виде тепла от трения. В результате потери тепла из цилиндра в контуры смазочного масла и охлаждающей жидкости составят 7,9 % от ввода топлива (11,4 + 1,1 – 4,6).

Если, как в случае с автомобильным двигателем, треть этого тепла покидает рабочее тело в цилиндре во время процесса сгорания, около 3 % выделяемого тепла не может быть использовано для работы. Следовательно, процесс в цилиндре такого двигателя вполне адиабатический. Теплоизоляция такой большой камеры сгорания, даже если это технически возможно, не позволит существенно повысить эффективность работы двигателя.

Основной причиной того, что процесс сгорания в цилиндре большого диаметра так близок к адиабатическому, является относительно небольшое соотношение площади и объема камеры сгорания. В верхней мертвой точке это отношение 180 м^{-1} для двигателя с цилиндром $\varnothing 15 \text{ см}$, но уже 70 м^{-1} для цилиндра $\varnothing 34 \text{ см}$, а для цилиндра $\varnothing 50 \text{ см}$ оно сокращается менее чем до 50 м^{-1} . Относительная площадь охлаждения рабочей среды для большого цилиндра больше: для цилиндра $\varnothing 34 \text{ см}$ в 2,6 раза, а для $\varnothing 50 \text{ см}$ – в 3,7 раза. Соотношение площадь/объем камеры сгорания представлено на рис. 7.

Это соотношение примерно сохраняется и по мере движения поршня. Но время пребывания в цилиндре для двигателя большого диаметра более продолжительное, поскольку частота вращения составляет 750 об/мин или 500 об/мин, а для двигателя с цилиндром $\varnothing 15 \text{ см}$ – 1500 об/мин.

На первый взгляд, это уменьшило бы преимущество большого диаметра вдвое или втрое, до 1,2–1,3. Несмотря на это, присутствует прохладный слой между стенками камеры сгорания и основной массой рабочего тела. Это означает, что средне- и низкооборотные двигатели Wärtsilä с большим диаметром дают примерно вдвое меньше относительных тепловых потерь по сравнению с высокооборотным двигателем с $\varnothing 15 \text{ см}$. Кроме того, температура среды в цилиндре большого диаметра меньше и составляет около 75 % от температуры в цилиндрах небольшого двигателя вследствие гораздо большего соотношения воздух/топливо большого двигателя.

Двукратное уменьшение потерь, деленное на 0,75, значительно приближает к трехкратному различию в относительных потерях тепла двигателей с большим диаметром и малым диаметром. Для снижения отношения площади

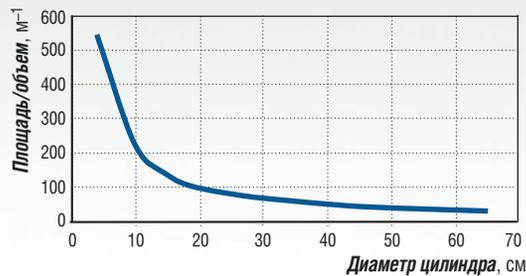


Рис. 7.
Соотношение
площадь/объем
камеры сгорания

к объему еще в три раза, диаметр цилиндра придется увеличить с 34 см до 100 см.

Двигатель Wärtsilä 50SG

Самый мощный газопоршневой двигатель Wärtsilä 50SG соответствует всем настоящим и будущим требованиям по эксплуатационным расходам и имеет высокий КПД как в простом, так и в комбинированном цикле. Его преимуществами являются простота технического обслуживания и длительные межремонтные интервалы. Максимальная электрическая мощность энергоблока составляет 18,3 МВт при частоте тока 50 Гц. Частота вращения силового вала двигателя – 500 об/мин, КПД на клеммах генератора достигает 48,6 %.

Wärtsilä 50SG был разработан с учетом возрастающей потребности на рынке в мощных газопоршневых двигателях для использования в составе электростанций мощностью до 500 МВт. Для такой электростанции простого цикла необходимо 28 энергоблоков, а при использовании в ее составе паросилового блока общая мощность станции возрастает до 560 МВт.

В дополнение к большой мощности и высокому уровню КПД данный энергоблок имеет еще одно преимущество: снижение и повышение нагрузки возможно без сокращения межремонтного ресурса. Двигатели Wärtsilä 50SG обеспечивают быстрый набор мощности. Электростанция простого цикла (500 МВт) или комбинированного цикла (580 МВт) обеспечивает набор и сброс нагрузки с шагом 67,2 МВт/мин. Все энергоблоки в составе электростанции набирают и сбрасывают нагрузку одновременно, интенсивность набора/сброса каждого из них составляет 2,4 МВт/мин.

Wärtsilä 50SG может эксплуатироваться на природном газе различного качества. Номинальное значение метанового числа – 80. Двигатель работает на предварительно обедненном топливе: топливовоздушная смесь содержит больше воздуха, чем необходимо для полного сгорания. При этом снижаются необходимые рабочие температуры и, соответственно, уровень эмиссии NO_x . КПД двигателя

Компания Wärtsilä, ведущая свою историю со середины 1830-х гг., обладает огромным опытом в области проектирования, строительства и поставок электростанций на условиях «под ключ», ежегодно реализуя более 100 проектов, в том числе и на территории бывшего СССР. На данный момент Wärtsilä насчитывает 54 459 МВт установленной мощности на 4 706 электростанциях, созданных на базе 10 644 двигателей, в 169 странах мира. Из указанного количества 89 электростанций в 31 стране мира (1 087 двигателей общей электрической мощностью 14 012 МВт) – единичной мощностью более 100 МВт. Из них при этом на постсоветском пространстве находится 7 станций на базе 96 двигателей общей электрической мощностью 1 262 МВт.

Более 1% мировой электроэнергии вырабатывается на электростанциях Wärtsilä. Кроме того, компания имеет более 140 ГВт установленной мощности основных или вспомогательных двигателей для морского флота, в том числе на торговых, оффшорных, круизных и специальных судах и паромах. Фактически каждое третье судно в мире оснащено двигателями Wärtsilä, а каждое второе – обслуживается ее специалистами.

Компания является ведущим поставщиком эффективных и гибких технологий производства электроэнергии на основе двигателей внутреннего сгорания, работающих на различных жидких и газообразных видах топлива. Модельный ряд Wärtsilä состоит из электростанций мощностью до 600 МВт и включает предложения для всех отраслей промышленности, исчерпывающий комплекс услуг: от разработки проекта и его финансирования до эксплуатации и технического обслуживания станций.

Эксплуатационная гибкость, высокий КПД, низкий уровень выбросов и надежность – все это позволяет использовать электростанции Wärtsilä для стабилизации сети, покрытия пиковых нагрузок, в качестве базовых стационарных и плавучих источников электроэнергии, а также в области промышленной генерации и жилищно-коммунального сектора.



повышается, достигается более высокая мощность и предотвращается детонация.

Wärtsilä 50SG – четырехтактный двигатель, с турбонаддувом, промежуточным охладителем и прямым впрыском топлива. Компанией была специально разработана система контроля и управления двигателем, осуществляющая мониторинг параметров каждого цилиндра. Стабильные эксплуатационные параметры обеспечивают снижение механического и термического воздействия на детали двигателя, что увеличивает срок их службы.

Природный газ подается в двигатель через блок регулирования (GRU – gas regulating unit). Сначала газ проходит очистку, при этом его давление, которое зависит от нагрузки двигателя, контролируется с помощью клапана GRU. При полной нагрузке давление газа с наименьшей теплотворной способностью (LHV) 36 МДж/м³ на входе в двигатель должно быть 0,39 МПа, при более низких значениях LHV оно должно быть увеличено. В состав GRU входят также отсечной и выпускной клапаны для обеспечения безопасной и надежной подачи топливного газа.

В двигателе топливный газ подается по трубной обвязке системы Common-Rail, расположенной вдоль двигателя. Каждый цилиндр имеет индивидуальный подвод газа к клапану, находящемуся на головке цилиндра. Топливо поступает в цилиндры перед воздушным впускным клапаном. Электронный контроль работы газовых форсунок выполняется системой управления двигателем, обеспечивая подачу необходимого количества газа в каждый цилиндр и контроль процесса горения в них. Поскольку каждая форсунка может быть отрегулирована отдельно от впускного клапана, любой цилиндр можно продуть без риска попадания газа в систему выхлопа.

Индивидуальная подача газа в каждый цилиндр обеспечивает необходимое соотношение компонентов топливовоздушной смеси, а также оптимальный режим работы с целью достижения максимального КПД и низких уровней эмиссии. Газовые форсунки изготовлены из специальных материалов, что обеспечивает их износостойкость и продолжительный срок службы.

Новый двигатель Wärtsilä 50SG оснащен передовой системой охлаждения, которая обеспечивает эффективный отвод избыточного тепла от всех теплонагруженных деталей двигателя. Она состоит из двух отдельных систем – высокотемпературной (НТ) и низко-

С Крупнейший в мире газопоршневой двигатель
Wärtsilä 50SG мощностью 18,3 МВт

температурной (LT). Система НТ предназначена для охлаждения гильз и головок цилиндров, LT – для охлаждения смазочного масла. Обе системы связаны с двухступенчатым охладителем воздуха.

Двигатели с V-образным расположением цилиндров комплектуются также открытой системой охлаждения, при которой охлаждающие контуры подключаются отдельно. При этом реализуются максимально эффективные схемы отвода избыточного тепла и системы охлаждения. Система LT в стандартном исполнении всегда соединена со 2-й ступенью охладителя подаваемого в двигатель воздуха, в то время как НТ соединена с системой охлаждения рубашки двигателя. Обе системы имеют привод от основного двигателя.

При создании модификации двигателя Wärtsilä 50SG значительное внимание уделялось также повышению эффективности турбоагнетателя. Был разработан агнетатель Moposrex, в конструкции которого учтены все преимущества импульсного и постоянного турбоагнетателя. Взаимодействие двигателя и турбоагнетателя организовано таким образом, чтобы минимизировать гидравлическое сопротивление потоков выхлопных газов и всасываемого воздуха.

В составе двигателя используются высокоэффективные турбоагнетатели с подшипниками скольжения. Система смазки турбоагнетателя – общая с двигателем. Перепускной клапан турбокомпрессора управляется электропневматически.

Реализация проекта и его развитие

В настоящее время в г. Тихвине ведется подготовка площадки к строительству первой очереди станции мощностью 110 МВт. Компания Wärtsilä изготавливает энергоблоки, модульные конструкции станции и необходимые системы. В связи с модульной компоновкой сроки строительства электростанции существенно сокращаются. Как было указано выше, шесть энергоблоков простого цикла Wärtsilä 50SG общей мощностью 110 МВт планируется ввести в эксплуатацию и синхронизировать с энергосистемой.

Станция полностью обеспечит потребности Тихвинского вагоностроительного завода и промышленных предприятий Тихвинской промплощадки. Ввод в эксплуатацию системы утилизации тепла энергоблоков общей мощностью 90 МВт планируется в 2015 году. Это позволит увеличить КПД электростанции до 90%. **Д**

Мощность энергокомплекса Нижне-Шапшинского месторождения (ХМАО) увеличена до 29 МВт.

На месторождении компании «РуссНефть» установлено 23 энергоблока JMS 420 GS компании GE Energy. Оборудование расположено на двух площадках – 16 и 7 энергоблоков, связанных высоковольтной линией. В перспективе мощность ГПЭС планируется увеличить до 44 МВт, установив 41 энергоблок.

Две станции обеспечивают потребности в электроэнергии Шапшинской группы месторождений в радиусе 75 км. Для реализации проекта применяется передовая система синхронизации между высоковольтными электростанциями разработки ООО «Макс Моторс».

ГПЭС работают в простом цикле в базовом режиме. Энергоблоки оборудованы радиаторным охладителем воздух/вода, предназначенным для охлаждения рубашки двигателя, масла, 1-й ступени газовой смеси, и радиатором воздух/вода – для охлаждения 2-й ступени газовой смеси.

CAU Dialogue Network Next Generation включает блок визуализации на базе промышленной персональной ЭВМ и блоки управления двигателем и энергоблоком. Дистанционное управление и обслуживание приводов и генераторных установок обеспечивает система дистанционного доступа HERMES.

Основное энергооборудование доставлено на месторождение компанией «Макс Моторс». Генподрядчик строительства – ЗАО «Гипронг-Эком», заказчик проекта – компания «ЮграГазПроцессинг».

Месторождения Шапшинской группы расположены в 150 км к юго-востоку от г. Ханты-Мансийска. Месторождения разрабатываются компанией «РуссНефть».

The output of power station on the site of Nizhne-Shapkinskoye oil field was increased up to 29 MW.

23 GE Jenbacher JMS 420 GS gas engine power plants operate on the site of Nizhne-Shapkinskoye oil field (RussNeft). They are installed on two sites. In future it is planned to install 18 more similar power plants on the field. After their commissioning total electric power output of the station will be of 44 MW. The power equipment was supplied to the site by Max Motors Ltd. The customer of the station is YugraGasProcessing. General contractor for the project is GiprongEcom JSC.

The station operates on the base mode. It is equipped with Dialogue Network Next Generation control system.

