

## ПО СТРАНИЦАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

Материал подготовил к.т.н. Г.В. Мельник

### РАЗВИТИЕ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

#### Caterpillar

Фирма «Катерпиллер» интенсивно осваивает новые рынки тепловозных двигателей, особенно в странах Восточной Европы, где модернизация железных дорог ныне считается одной из приоритетных задач.

Так, в Венгрию было поставлено 80 двигателей, в том числе 9 двигателей серии 3400 мощностью 350–640 кВт для тепловозов типов М40, М41, М43, М44, М47 (маневровые и вывозные) и 71 двигатель серии 3500 мощностью 441–1700 кВт для тепловозов типа М62 (магистральные).

До конца 2005 года фирма «Zeppelin» — восточноевропейский дилер «Катерпиллера» — должна была модернизировать 25 тепловозов М62. Заключен договор о ремоторизации 20 тепловозов М62 для Литвы, ведутся также переговоры с владельцами М62 в Польше и некоторых других странах.

Кроме того, подписаны многолетние контракты на поставку 239 двигателей серии 3508 в Германию, в том числе 160 двигателей — для тепловозостроительного предприятия Vossloh Locomotives GmbH (остальные предназначены для Deutsche Bahn — Железных Дорог ФРГ).

#### Cummins

В 2004 году «Камминс» начал производство четырех новых моделей тепловозных двигателей: QSK19-L, QSK45-L, QSK50-L и QSK60-L.

Благодаря внедрению новой системы топливоподачи дизели серии QSK19-L мощностью до 559 кВт вышли на уровень требований Tier 3 к токсичности выхлопа. Они могут работать на одном локомотиве как в одиночку, так и в параллель (при наличии двух и более двигателей).

За счет снижения температуры поршня и давления в цилиндре удалось повысить КПД дизеля и уменьшить напряжения в основных узлах. В цилиндо-поршневую группу были внесены изменения, заимствованные из конструкции более мощных двигателей серии Quantum. Главное из них — применение цельного чугунного поршня. Общий проектный ресурс двигателя составляет 80 000 моточасов при условии проведения капитального ремонта через каждые 20 000 часов.

На дизеле применена система common rail, созданная специально для двигателей данной размерности, работающих с высоким коэффициентом загрузки. Максимальное давление впрыска может достигать 1587 кг/см<sup>2</sup>.

Управление впрыском осуществляется с помощью усовершенствованного электронного модуля Cummins CM850.

«Камминс» считает, что минимальные изменения в двигателе позволят ему достичь уровня Tier 4, и тем самым обеспечить возможность его использования в течение следующих 10 лет.

Двигатели QSK45-L успешно работают в Намибии на тепловозах китайской постройки.

Двигатель развивает 1343 кВт при 1800 об/мин, а его ресурс составляет 100 000 моточасов при условии проведения капитального ремонта через каждые 25 000 часов. Новый двигатель QSK50-L мощностью 1044–1567 кВт представляет собой дальнейшее развитие базовой модели К50. Выпуск нового двигателя планируется начать в текущем году.

Оптимизация рабочего процесса позволила обеспечить выполнение требований Tier 2 и создать предпосылки для достижения к 2011 г. уровня Tier 4 (за счет введения каталитической очистки).

В QSK50-L содержание NO<sub>x</sub> ниже допустимого по Tier 1 на 30%, а сажи — на 65 %, при этом обеспечивается возможность работы в тяжелых условиях эксплуатации с использованием наиболее доступных сортов топлива.

Этот 16-цилиндровый V-образный дизель, имеющий цельнолитые поршни из чугуна с шаровидным графитом, форсирован за счет повышенного  $p_e$ .

Двигатель QSK60-L мощностью от 1492 до 1865 кВт, предназначенный для магистральных тепловозов, будет запущен в серию в январе 2007 года. Он также отвечает требованиям Tier 2.

#### Daimler Chrysler Off-Highway MTU Friedrichshafen GmbH

Компания MTU Friedrichshafen вышла на рынок с новыми изделиями, относящимися к противоположным концам мощностного ряда.

На «верхнем» конце находится высокофорсированный тепловозный дизель 20V 4000 —

20-цилиндровая версия V-образного двигателя серии 4000 с углом развала блока 90° и системой впрыска common rail. Его номинальная мощность составляет от 2700 до 3000 кВт при 1800 об/мин, а экологические характеристики отвечают требованиям международного стандарта UIC 624 для двигателей подвижного состава.

Этот дизель специально проектировался в расчете на то, чтобы удовлетворить потребности рынка в связи с растущей интенсивностью грузовых перевозок в новых границах еврозоны. Процесс реструктуризации и укрупнения европейских железнодорожных операторов привел к созданию международных железных дорог и к стремлению оптимизировать международные перевозки. Мощность 3000 кВт позволяет водить тяжелые поезда одним локомотивом, отказавшись от работы по системе нескольких единиц.

В 2004 году для фирмы «Vossloh Locomotives GmbH» было изготовлено два двигателя 20V 4000, которые были установлены на опытные образцы нового тепловоза MaK 2000. Первый тепловоз был оборудован фильтром твердых частиц — одной из первых систем подобного рода в локомотивах этого класса, позволяющей в несколько раз снизить выброс частиц.

Фирма MTU также получила заказ от британского оператора First Great Western на два 16-цилиндровых двигателя серии 4000 для моторных вагонов скоростного дизель-поезда. Дизель-поезд с двумя двигателями 16V 4000 мощностью по 1680 кВт каждый при 1800 об/мин развивает скорость до 200 км/ч. В случае успешного завершения испытаний головного образца предполагается ремоторизация еще от 40 до 60 моторных вагонов.

Кроме того, получен большой заказ для французского железнодорожного оператора SNCF на 400 силовых установок для тепловозов серии 47 5000 с электропередачей; каждая силовая установка состоит из двигателя, спаренного с трехфазным генератором. Первый такой тепловоз должен быть введен в эксплуатацию в 2006 году. Еще один заказ получен от SNCF на ремоторизацию 52 тепловозов серии BB66000, куда будут поставлены 12-цилиндровые двигатели 12V 4000. По словам представителя MTU, существует перспектива ремоторизации еще около 300 таких тепловозов. Поступил также заказ от «Siemens Transportation Systems» на дизель-генераторы для тепловозов типа ER 20 (Euro Runner 20), в рамках договора на создание 100 локомотивов Hercules для Австрийских железных дорог ÖBB.

На «нижнем» конце мощностного ряда находятся силовые установки автомотрис, размеща-

емые под полом вагона и удовлетворяющие последним требованиям Евросоюза и Северной Америки в области экологии. Такая силовая установка поставляется в виде готового модуля, состоящего из двигателя, трансмиссии, фильтра и системы охлаждения. Двигатель представляет собой 6-цилиндровый рядный дизель типа 6H 1800 (размерность 12,8/16,6; рабочий объем цилиндра 2,14 л) мощностью 360 кВт при 1800 об/мин. Последние модели удовлетворяют требованиям EC Stag I-IA и американского экологического стандарта EPA Tier 3 для железнодорожного транспорта.

#### Deutz AG

Недавно фирма «Deutz» приняла участие в ремоторизации тепловозов типа PEG V 270 с гидропередачей, принадлежащих германскому оператору EBW (Eisenbahn — Bewachungs — GmbH), куда были установлены V-образные двигатели серии 620 с углом развала блока 60° и рабочим объемом цилиндра 4,4 л.

Тепловозы, имеющие две спаренные двухосные моторные тележки, в настоящее время проходят капитальную модернизацию на предприятии OMB Ostmecklenburgische Bahnwerk GmbH (Германия). Они могут применяться в качестве как магистральных, так и маневровых.

При модернизации, в частности, полностью меняется вся силовая система. Новая силовая установка выполнена на базе 12-цилиндрового двигателя TBD 620 V12, производимого на предприятии «Deutz» в Маннхайме. Дизель с турбонаддувом и промежуточным воздухоохладителем развивает мощность 1087 кВт при 1500 об/мин, а передача мощности на колеса производится с помощью 4-скоростного гидротрансформатора Maybach Mekhydro серии 184 U.

В новых установках применен электронный регулятор скорости типа EMR11, являющийся собственной разработкой фирмы «Deutz».

#### Electro-Motive Diesel, Inc.

В январе 2005 года «General Motors Corporation» объявила о предстоящей продаже своего подразделения «Electro-Motive Division» группе инвесторов, состоящей из «Greenbriar Equity Group LLC» и «Berkshire Partners LLC». Сделка, окончательно состоявшаяся в апреле месяце, привела к созданию новой компании под названием «Electro-Motive Diesel Inc.» (EMD).

В этом же году состоялась поставка 100 тепловозов класса 66 британской компании Freightliner Group Limited. Это — один из восьми действующих заказов на поставку тепловозов класса 66. Фирменное обозначение EMD для этого тепловоза — JT42CWR, однако в Англии он обычно именуется *класс 66*. Всего, с учетом

последней партии, общее число тепловозов EMD класса 66, полученных Freightliner Group с 1999 года, составит 103 единицы. Всего в Европе и в Англии работает свыше 400 таких тепловозов.

Подписан договор о поставке 13 тепловозов с электропередачей переменного тока типа SD70ACe для обслуживания шахт на северо-востоке Австралии. Этот грузовой тепловоз, разработанный для североамериканского рынка, нашел широкое применение во всем мире — там, где требуется вождение большегрузных поездов в тяжелых условиях. На нем установлен двигатель EMD серии 710 мощностью 3207 кВт, известный своей надежностью.

В 2005 году 16 тепловозов SD70ACe, отвечающих требованиям EPA Tier 2, проданы компании «Montana Rail Link» (MRL). Пять из них должны заменить восемь старых локомотивов на линиях, используемых для перевозки угля и зерна в районе континентального водораздела на севере штата Монтана.

#### MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Внедрение common rail

В конце 2004 года фирма MAN Nutzfahrzeuge объявила о внедрении системы common rail на 6-цилиндровых двигателях горизонтального типа серии D2876, широко используемых для привода автомотрис.

Фирма предлагает три модели рядных двигателей, располагаемых под полом пассажирского салона.

Модель D2876 LUE 621 имеет номинальную мощность 257 кВт при крутящем моменте 1500 Нм, а модель D2876 LUE 622 — 338 кВт при крутящем моменте 2000 Нм. Наиболее мощный двигатель этой серии D2876 LUE 623 развивает 382 кВт при крутящем моменте 2350 Нм.

Возможности common rail позволяют в каждом случае оптимизировать внешнюю характеристику для обеспечения достаточного запаса крутящего момента в широком диапазоне скорости. Максимальную мощность он развивает при номинальных значениях скорости 1900–2000 об/мин, а максимальный крутящий момент — при номинальных значениях скорости 800–1500 об/мин. Сертификация двигателей на соответствие экологическим требованиям Еврокомиссии 2004/26/ЕС для тепловозных дизелей категории RC-A, вступившим в силу 31 декабря 2005 года, также оказалась возможной в значительной степени благодаря внедрению технологии common rail.

*Diesel & Gas Turbine Worldwide  
July-August. 2005*

## ТЕПЛОВОЗНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ GEVO ФИРМЫ «GENERAL ELECTRIC»

Новый тепловозный дизель вобрал в себя все новейшие достижения в области технологии двигателестроения. Ближайшая область применения нового двигателя — тепловозы для железных дорог США, удовлетворяющие требованиям Tier 2 2005 года (см. табл. 1) в части вредных выбросов. Его мощность в 12 цилиндрах составляет 3360 кВт при 1050 об/мин — столько же, сколько развивал двигатель GE серии 7FDL, имеющий 16 цилиндров. Размерность двигателя — 25/32. При этом исходный уровень  $p_e$  составляет порядка 20 кг/см<sup>2</sup> и имеет резерв для дальнейшего роста.

Оценка надежности каждой системы и каждого компонента производилась с использованием точного метода Проектирования по Критериям Надежности (DFR — Design for Reliability). Применение указанного метода обеспечило надежность критических компонентов двигателя путем анализа коэффициентов запаса по размерам и прочности во всем диапазоне рабочих режимов. Надежность двигателя была подтверждена обширной программой ресурсных испытаний при форсированных нагрузках. С 2005 года вступил в силу стандарт Tier 2 EPA (Управления по охране окружающей среды). Чтобы обеспечить выполнение нормативов стандарта Tier 2 EPA, в GE Rail было решено с самого начала проектирования добиваться оптимального компромисса между требованиями экологии и экономичности — вместо того, чтобы впоследствии перерабатывать готовую конструкцию.

Каждый новый уровень EPA предусматривает снижение выбросов NO<sub>x</sub> примерно на 25 %. Стандарты Tiers 0 и 1 допускали сравнительно высокое содержание твердых частиц. В Tier 2 оно снижено на 55 %. Tier 2 — это первый документ, который, помимо ставшего уже привычным

Таблица 1

#### Нормы выбросов для локомотивов, г/л. с. • ч

Цикл	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
Tier 0 (1973–2001)				
Магистральный	1,0	5,0	9,5	0,60
Маневровый	2,1	8,0	14,0	0,72
Tier 1 (2002–2004)				
Магистральный	0,55	2,2	7,4	0,45
Маневровый	1,2	2,5	11,0	0,54
Tier 2 (2005 и позже)				
Магистральный	0,3	1,5	5,5	0,20
Маневровый	0,6	2,4	8,1	0,24

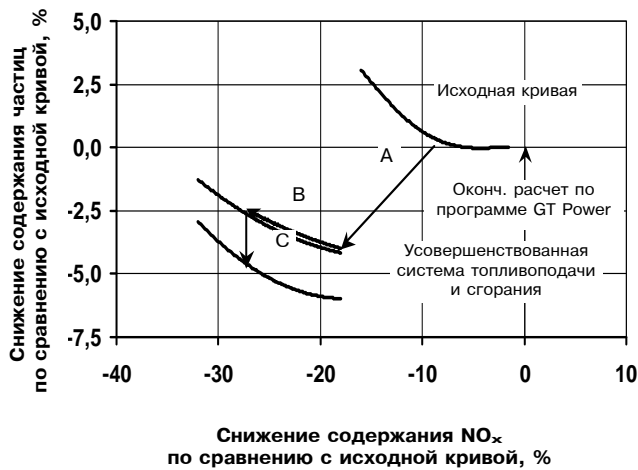


Рис. «Кривая компромисса» между содержанием NO<sub>x</sub> и твердых частиц

снижения NO<sub>x</sub>, предусматривает также резкое снижение выбросов твердых частиц. Требования одновременного снижения выбросов NO<sub>x</sub> и твердых частиц не позволили использовать прежнюю «кривую компромисса» между NO<sub>x</sub> и твердыми частицами (NO<sub>x</sub>–PM), заставив вместо этого выбрать путь принципиальной модернизации всех систем двигателя.

Комплекс конструктивных мероприятий, выработанный по результатам математического моделирования, обеспечил переход на новую, более благоприятную кривую NO<sub>x</sub>–PM (см. линию «А» на рис.), что, в свою очередь, позволило выполнить требования Tier 2 по вредным выбросам, сохраняя при этом расход топлива на конкурентоспособном уровне. К числу таких мероприятий относятся: снижение температуры воздуха во впускном ресивере, оптимизация углов открытия и закрытия клапанов, повышение степени сжатия, повышение КПД турбокомпрессора, а также снижение аэродинамических потерь во впускных и выхлопных окнах.

Для компенсации роста расхода топлива из-за уменьшения угла опережения впрыска («В») потребовалось улучшить параметры системы впрыска топлива и одновременно оптимизировать схему организации процесса сгорания («С»).

При проектировании не были только сохранены все лучшие качества двигателей предыдущего поколения, но и использованы последние достижения мирового двигателестроения, позволившие выполнить требования Tier 2. Это, в свою очередь, дало возможность получить в 12 цилиндрах ту же мощность 3360 кВт, для получения которой ранее (в двигателе типа 7FDL) требовалось 16 цилиндров (см. табл.2). В новом двигателе GEVO сохранены общие архитектурные принципы, свойственные тепловозным дизелям GE. В частности, моноблок и поршневая группа

объединены в один конструктивный узел, который легко снимается с двигателя, поскольку для его крепления использован минимум крепежных устройств. Впускной и выхлопной коллекторы компактно размещены в развале блока, угол которого составляет 45°. Это позволило вписать машину с достаточно большим диаметром цилиндра в ограниченные по высоте габариты кузова тепловоза. Кулачковые валы размещены снаружи и разнесены на достаточное расстояние для того, чтобы можно было обеспечить относительно длинный ход поршня и применить шатун с большим нижним концом.

Большая глубина рамы обеспечивает достаточно большую жесткость картера, позволяющую крепить к нему напрямую тяговый генератор (переменного тока). На 12-цилиндровом двигателе установлен один турбокомпрессор, расположенный достаточно низко для того, чтобы вертикальный глушитель вписывался в габариты тепловоза. Турбокомпрессор с впускными воздушными патрубками, а также входные патрубки воды и масла и опорные кронштейны насоса держатся на общей литой опоре. Конструкция обеспечивает свободный доступ к водяному и масляному насосам, расположенным на свободном конце двигателя. Каждая секция кулачкового вала имеет индивидуальную крышку. Люки картера расположены выше линии коленвала, а их размеры достаточны для обеспечения свободного доступа к шатуну. Подпружиненные крышки люков обеспечивают взрывозащищенность картера. Доступ к клапанному механизму осуществляется через алюминиевую крышку, которая крепится одним болтом. Все крышки окон, используемых при техобслуживании, имеют кольцевые уплотнения многократного применения.

Таблица 2

**Основные параметры дизеля GEVO V12**

Модель	GEVO V12
Диаметр цилиндра	250 мм
Ход поршня	320 мм
Рабочий объем	188,5 л
Скорость	1050 об/мин
Мощность	3360 кВт
Число цилиндров	12
Угол развала	45°
Высота	2683 мм
Ширина	1598 мм
Длина	320 мм
Вес	19 500 кг

Двигатель с тяговым генератором установлен на эластичных резиновых виброизоляторах. Дизель-генератор собирается в цехе и устанавливается на тепловоз целиком, что ускоряет процессы сборки и ремонта тепловоза.

Размеры двигателя, т. е. его длина, ширина и высота выбраны из условия размещения его на тепловозе, однако благодаря своей компактности и высокой удельной мощности, он может оказаться лучшим выбором также и для ряда других применений, как транспортных, так и стационарных.

Как показали стендовые и ходовые испытания тепловозов, по таким показателям, как мощность, ускорение, рабочие параметры и надежность, новый двигатель превзошел самые оптимистические прогнозы.

*Flynn, P.L., Napierkowski, S., Hupperich, P., Reichert, E., General Electric GEVO Engine for Tier 2 Locomotive Application, ASME Paper ICEF2003-708*

## НОВЫЙ ТЕПЛОВОЗНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КИТАЯ

В 1997 году завод железнодорожной техники «Qishuyan» (Ки-Шуань) в Шаньчжоу (Китай), выпускающий локомотивы, вагоны и двигатели, решил приступить к созданию нового более мощного тепловоза с новым двигателем, который бы отвечал современным техническим требованиям. Новый дизель предполагалось создать на основе существующего, модернизировав его в целях доведения технико-экономических показателей и применяемых технологий до уровня лучших мировых образцов. Проектирование и доводка дизеля были поручены известной австрийской фирме AVL из города Грац.

При создании двигателя ставились задачи вывода его на современный уровень по агрегатной и удельной мощности, надежности, ресурсу, расходу топлива и экологическим параметрам. Одним из важных моментов было обеспечение эффективной работы в условиях высокогорья.

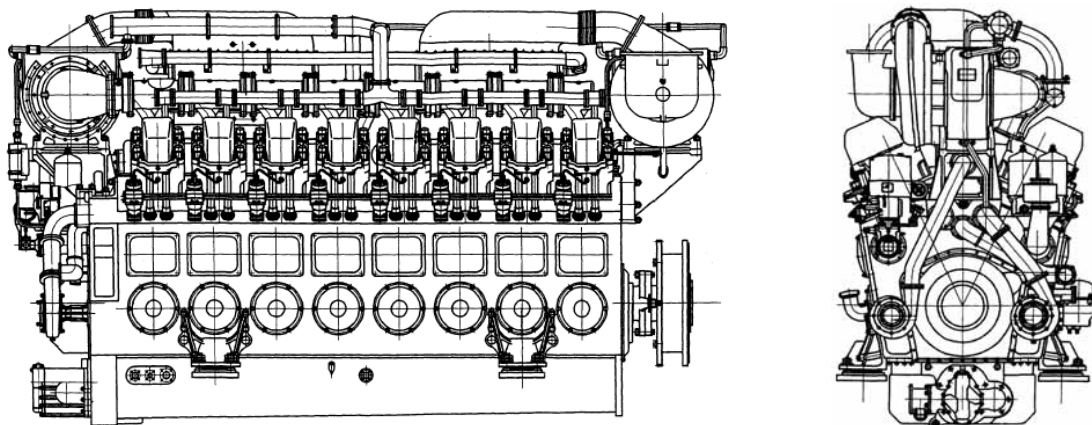
Кроме того, при проектировании технологий должны были учитываться возможности существующего заводского оборудования.

Опытный образец двигателя был построен на заводе «Qishuyan», имеющем собственный литейный цех и достаточно мощное механическое производство. Там же была изготовлена большая часть узлов и деталей. Особое внимание было уделено контролю качества. Отдельные компоненты закупаются у других китайских производителей, в том числе регулятор скорости, подшипники и промежуточный воздухоохладитель. Некоторые компоненты, например, топливные насосы, турбокомпрессор и главные подшипники приобретались в Европе, где их выбор шире.

Основные параметры нового двигателя, согласно техническому заданию приведены в таблице.

Блок цилиндров (являющийся также рамой) двигателя выполнен из высокопрочного ковкого чугуна. Он включает в себя «мокрые» втулки цилиндров и внутренние каналы воды и масла для охлаждения. Каждая крышка коренных подшипников крепится двумя болтами, которые винчиваются в блок гидравлическим моментным ключом. Конфигурация ребер рамы выполнена таким образом, чтобы нагрузка от головки цилиндра передавалась непосредственно на крышки коренных подшипников, избегая при этом образования концентраторов напряжений. На этапе эскизного проектирования было исследовано множество вариантов, прежде чем выбрать окончательное решение, отвечающее требованиям технического задания заказчика.

Кованый коленвал из легированной стали проходит сплошное поверхностное азотирование. Галтели между коренными шейками и щеками выполнены с внутренними канавками в целях максимально возможного увеличения ширины шеек. Для оптимизации напряжений в теле коленвала и нагрузок на подшипники на каждой щеке установлены противовесы, закрепленные с помощью болтов. При расчете системы на крутильные колебания учитывались: демпфер



Таблица

**Основные параметры нового тепловозного двигателя типа QS 16V280**

Параметр	Единица	Величина
Номинальная мощность	кВт	4705
Номинальная частота вращения	об/мин	1000
Часовая перегрузочная способность	%	110
Размерность	см	28/30
Удельный расход топлива (при низшей теплотворной способности 42 000 кДж/кг):		
на 100% нагрузки при 1000 об/мин	г/кВт·ч	≤ 204
на 75% нагрузки при 920 об/мин	г/кВт·ч	≤ 203
на 56% нагрузки при 840 об/мин	г/кВт·ч	≤ 206
на 42% нагрузки при 720 об/мин	г/кВт·ч	≤ 212
Удельный расход масла при 100% нагрузки и 1000 об/мин	г/кВт·ч	≤ 1,0
Дымность на всех режимах	FSN	≤ 1,3
Максимальное давление сгорания	кг/см <sup>2</sup>	< 155
Содержание СО в ОГ	г/кВт·ч	≤ 3,2
Содержание НС в ОГ	г/кВт·ч	≤ 1,2
Содержание NO <sub>x</sub> в ОГ	г/кВт·ч	≤ 15
Высота (над уровнем моря), при которой гарантирована нормальная работа дизеля	м	до 5072
Ресурс турбокомпрессора, не менее	ч	25 000

крутильных колебаний со спиральной пружиной, установленный на свободном конце коленвала, и муфта привода генератора типа Geislinger.

Шатун с горизонтальным разъемом имеет Н-образный профиль. Нижняя крышка шатунного подшипника крепится четырьмя болтами, и выполнена так, чтобы при разборке двигателя была возможность вынуть шатун через втулку цилиндра. Через сверление в теле шатуна поступает масло для смазки верхнего подшипника и для охлаждения поршня. Шатун — кованый, выполнен из хромомолибденовой стали марки 42CrMo.

Поршень двигателя — составной. Юбка поршня из алюминиевого сплава; она проходит закалку и искусственное старение; днище поршня из хромомолибденовой стали марки 42CrMo крепится к днищу снизу четырьмя болтами. На днище расположены три компрессионных кольца, на юбке одно маслосъемное кольцо.

Крышка цилиндра имеет внешнюю цилиндрическую стенку, образующую газовый стык с втулкой цилиндра с коническим уплотнением. Конструкция крышки и втулки цилиндра обеспечивает эффективное охлаждение всех критических областей. Впускные и выпускные каналы, расположенные с одной стороны блока (U-образный поток) спроектированы и доведены с использованием специального газодинамического стенда AVL. При этом завихрения потока минимизированы для оптимизации расхода топлива на номинальном режиме.

Параметры впрыска оптимизированы по результатам предварительных расчетов. Угол впрыска на номинальном режиме составляет порядка 16° поворота кулачкового вала при давлении примерно 1200 кг/см<sup>2</sup>. На двигателе применены форсунка типа BOSCH T и топливный насос типа BOSCH PF1WX. Возможен также вариант применения топливного насоса с электронным управлением.

Проведены расчеты рабочих режимов двигателя на высотах 2800 и 5072 м над уровнем моря. Согласно этим расчетам, на высоте 5072 м двигатель с турбокомпрессором развивает при минимальной температуре наружного воздуха мощность 2740 кВт, а при максимальной — 2695 кВт (т. е. среднее эффективное давление соответственно 11,1 и 10,9 кг/см<sup>2</sup>). На высоте 2800 м эти же показатели составляют 3760/3721 кВт (15,3 / 15,1 кг/см<sup>2</sup>).

В данном случае интерес представляют не только характеристики нового двигателя, но и организация процесса его создания, которая может служить примером эффективного международного сотрудничества в этой области, демонстрируя в то же время один из возможных подходов к проблеме модернизации железнодорожной техники. Проблемы, связанные с удаленностью заказчика и исполнителя, с их разным опытом и различными культурными традициями, успешно преодолевались путем взаимных командировок и интенсивной переписки. При этом специалисты завода «Qishuyan» принимали самое непосредственное участие в разработке двигателя на всех ее этапах.

*T. Bouche, W.H. Kling, Du Chen, Lei Chang Teng. The New Qishuyan 6,000 hp Locomotive Engine. Paper № 201. CIMAC— 2004. Tokyo*