

КАЧЕСТВО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕСУРСНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В. Н. Кучеров

*Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Российская Федерация*

Рассматриваются основные характеристики дизель-генератора нового поколения с полным электронным управлением фирмы Caterpillar С9. Перечислены принципы функционирования и состав элементов, осуществляющих организацию рабочего процесса и его исполнение, контроль и диагностику параметров двигателя в работе. Представлена принципиальная схема системы электронного управления двигателем, которая включает гидравлический насос активации процесса впрыскивания, трубопровод циркуляционной смазки, топливный фильтр, масляный фильтр, охладитель масла, форсунки и др. Проанализирован рекомендованный план-график предупредительных осмотров и ремонтов двигателя С9 фирмы Caterpillar, отмечены его положительные экологические показатели. Выполнено сравнение характера изменения ряда параметров рабочего процесса данного двигателя и дизеля с традиционным управлением S20 фирмы Sulzer на различных нагрузках. Приведены результаты длительной эксплуатации этих дизелей и проанализированы конструкционные недоработки, связанные с недостаточным качеством многих комплектующих деталей. Отмечаются высокие требования к качеству топлива и тонкости его очистки. Двигатель не имеет показывающих контрольно-измерительных приборов, диагностика отказа любого элемента или системы, как и её устранение, выполняется только сервисным специалистом, который может войти в базу данных. Приведены конкретные примеры повторяющихся отказов в работе компьютерной управляющей системы в двигателе на танкере «Марин Альянс» и попытка выявления их причин, подробно описанные в рапорте старшего механика. Конструкционная сложность элементов топливоподачи и систем управления рабочим процессом двигателя при абсолютной зависимости машинной команды от сервисного центра приводят к трудностям в эксплуатации, значительным финансовым затратам и сокращению времени использования двигателей.

Ключевые слова: дизельный двигатель, дизель-генератор, рабочий процесс, электронное управление, диагностика, эксплуатация, отказы.

Для цитирования: *Кучеров В. Н.* Качество рабочего процесса, эксплуатация и ресурсные возможности современного вспомогательного дизеля с электронным управлением // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 63–72. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-63-72.

Введение

Вопросам надёжности работы судовых дизелей уделяется большое внимание, поскольку от них зависит безопасность мореплавания. В последнее время весьма широко и разнообразно рассматриваются отказы судовых малооборотных и среднеоборотных дизелей и их причины [1–3]. Однако в отношении дизелей повышенной оборотности, в частности дизелей фирмы Caterpillar, эти вопросы изучены недостаточно.

Наряду с традиционными дизелями на современных судах наблюдается использование двигателей с электронным управлением, в том числе в качестве дизель-генераторов, а также двигателей автотракторного типа без электронного управления. Так, на танкерах типа «Георгий Фройер» дедевитом 5 000 т судоходной компании «Дельта» успешно эксплуатируются дизель-генераторы автотракторного типа фирмы MAN (D2842LE), которые относятся к разряду необслуживаемых. Данные двигатели мощностью 421 кВт при 1 500 об/мин, $P_{em} = 15,36$ бар (в количестве 4 ед.), установлены в качестве дизель-генераторов и приводных двигателей для винтовых грузовых насосов. Назначенный фирмой ресурс составляет 50 тыс. ч. Удельный эффективный расход дизельного топлива – 197 г/(кВт·ч.). Параметры указанных двигателей приводятся для сравнения в дальнейшем с дизелями нового поколения.

Результаты длительной эксплуатации этих двигателей представлены в работе [4].

Конструктивное исполнение и результаты эксплуатации дизелей фирмы Caterpillar С9

Для сохранения ресурса дизель-генераторов как приводных двигателей грузовых насосов, повышения надёжности и эффективности электрообеспечения при малых нагрузках на указанных судах были дополнительно установлены по одному дизель-генератору С9 фирмы Caterpillar (CAT) с электронным управлением под заводскими номерами SJB00492 и SJB00490.

Как известно, фирма Caterpillar широко и успешно внедряет дизели с электронным управлением; С9 – шестицилиндровый дизель морского типа достаточно новой модели мощностью 175 кВт при частоте вращения $1\,500\text{ мин}^{-1}$. Диаметр цилиндра – 112 мм, ход поршня – 149 мм, степень сжатия – 16,1, удельный расход топлива номинальный – 210 г/(кВт·ч).

Отношение хода поршня к диаметру цилиндра составляет 1,33, и средняя скорость поршня – 7,45 м/с. По данным показателям двигатель можно отнести к разряду среднескоростных [5].

Установленный на двигателе микропроцессор выполняет следующие функции:

- электронного регулятора скорости, поддерживающего скоростной и нагрузочный режим;
- управления подачей топлива в соответствии с заданным режимом по фазам, количеству топлива и закону подачи;
- контроля и сохранения в памяти основных параметров дизеля и обслуживающих его систем;
- сохранения в памяти процессора всех отклонений и нарушений в работе дизеля и выдачи их на экран процессора или печатающее устройство, в том числе и за длительный период эксплуатации;
- срабатывания аварийно-предупредительной сигнализации при выходе параметров за уставку, снижения нагрузки и далее остановки дизеля по критическим параметрам.

Принципиальная схема системы электронного управления двигателем приведена на рис. 1.

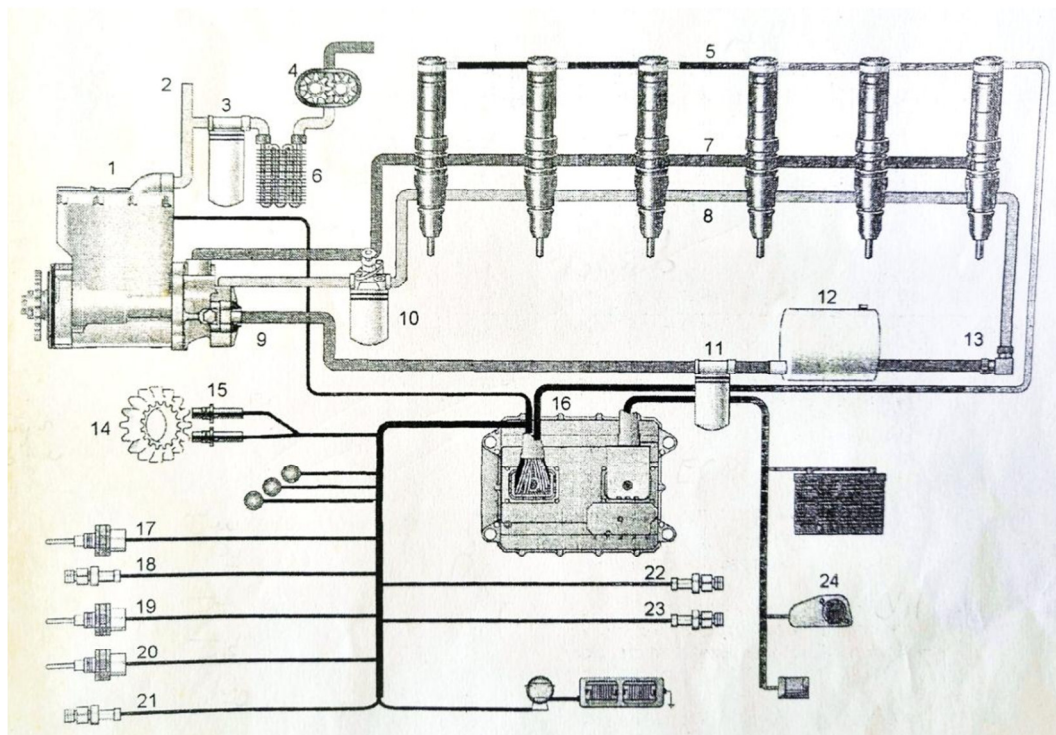


Рис. 1. Схема и состав элементов системы управления двигателем:

- 1 – гидравлический насос активации процесса впрыскивания; 2 – трубопровод циркуляционной смазки; 3 – масляный фильтр; 4 – насос циркуляционной смазки; 5 – форсунки; 6 – охладитель масла; 7 – масляный трубопровод высокого давления; 8 – топливный трубопровод; 9 – топливоподкачивающий насос; 10 – топливный фильтр; 11 – фильтр предварительной очистки топлива и отделения воды; 12 – топливная цистерна; 13 – клапан регулирования давления топлива; 14 – шестерня распределительного вала; 15 – датчики частоты вращения и мертвых точек поршней; 16 – электронный управляющий модуль ЕСМ; 17 – датчик температуры масла; 18 – датчик системы наддува; 19 – датчик системы охлаждения; 20 – датчик температуры наружного воздуха; 21 – датчик атмосферного давления воздуха; 22 – датчик давления масла; 23 – датчик давления топлива; 24 – датчик положения топливной рейки

Топливоподающая аппаратура представлена насос-форсунками с гидроприводом. Основные операции по управлению рабочим процессом замыкаются на электронный модуль ЕСМ.

Топливная система включает в себя четыре базовых компонента:

- 1) гидравлическую электронно-управляемую систему HEUI для реализации закона подачи топлива насос-форсункой – 5;
- 2) электронный управляющий модуль ЕСМ – 16;
- 3) гидравлический насос активации процессов впрыскивания форсунок (Unit injector hydraulic pump – УИНР) – 1;
- 4) топливоподкачивающий насос – 9.

Система HEUI использует циркуляционное масло, которое сжимается до давления 6–25 МПа в насосе активации для получения необходимого давления впрыскивания топлива форсункой. Система HEUI действует как гидравлический цилиндр для многократного повышения силы, действующей на плунжер топливного насоса высокого давления в целях достижения высокого давления впрыскивания. Низкое давление активации обеспечивает соответственно пониженное давление впрыскивания на холостых и пониженных нагрузках двигателя. Высокое давление активации управляет процессами с резкими и высокими нагрузками. Другие многочисленные режимы протекают в расчётном диапазоне от минимального до максимального давления активации.

Топливоподающая аппаратура с насос-форсунками и гидроприводом обеспечивает необходимый закон подачи топлива, состава смеси, качества смесеобразования и угол опережения подачи топлива. Основные операции по управлению рабочим процессом и исправность функционирования всех элементов замыкаются на электронный управляющий модуль ЕСМ.

Гидравлическая насос-форсунка и элементы топливоподдачи необслуживаемые и неразборные. В планах-графиках планово-предупредительных осмотров (ППО) и планово-предупредительных ремонтов (ППР) периодичность их обслуживания и ресурс не указаны (см. рис. 2). По остальным элементам сроки проверок понятны и мало отличаются от обычных двигателей.

Двигатель имеет благоприятные данные по экологическим показателям (табл.)

Экологические показатели двигателя С9 фирмы Caterpillar

| Процесс | Концентрация на режиме № 1 | Концентрация на режиме № 2 | Концентрация на режиме № 3 | Концентрация на режиме № 4 | Концентрация на режиме № 5 |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| % | 100 | 75 | 50 | 25 | 10 |
| NO _x | 1 476 ppm | 1 266 ppm | 1 030 ppm | 850 ppm | 1 248 ppm |
| | 3 060,4 мг/нм ³ | 2 616,7 мг/нм ³ | 2 138,9 мг/нм ³ | 1 783,9 мг/нм ³ | 2 598 мг/нм ³ |
| | 5,89 г/л.с·ч 8,13 кВт·ч | 5,19 г/л.с·ч 7,16 кВт·ч | 4,45 г/л.с·ч 6,14 кВт·ч | 4,18 г/л.с·ч 5,77 кВт·ч | 8,44 г/л.с·ч 11,65 кВт·ч |

Сравнительный анализ рабочего процесса дизелей С9 и S20 на различных режимах

Организация рабочего процесса дизеля С9 и его некоторые параметры представлены в сравнении с дизелем S20 фирмы Sulzer, имеющим традиционную конструкцию.

Дизель S20 имеет диаметр цилиндра 200 мм, ход поршня – 300 мм, длинноходность – 1,5, частоту вращения – 1 000 мин, среднюю скорость поршня – 10 м/с, среднее эффективное давление – 18,5 бар, цилиндровую мощность – 145 кВт, удельный расход топлива – 195 г/(кВт·ч).

Для анализа особенностей рабочего процесса приведены зависимости изменения ряда доступных параметров от нагрузки по данным стендовых испытаний дизелей С9 [6] и S20 [7]. В качестве параметра, определяющего условия воздухообмена и качество процесса сгорания, принято характеристическое отношение давления наддува к среднему эффективному давлению P_n / P_{e_m} (см. рис. 3).

| Рекомендованный фирмой график ПШО и ППР дизель-генератора "CAT C9" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Наименование работ | 250 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | |
| Смена смазочного масла | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Замена масляного фильтра | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Проверка системы охлаждения | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Проверка системы защиты | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Зарядное устройство (проверка) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Возд. фильтр (чистка/замена) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Салун картера (очистка) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Ф.тонкой очистки топлива (замена) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Анализ масла (отбор пробы) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Фунд. болты, амортиз. \проверка\ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Теплообменники (осмотр, проверка) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Магнитный фильтр (осмотр, очистка) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Турбокомпрессор (осмотр) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Эл.генератор (осмотр) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Термостат системы охл (замена) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Демпфер круг. колебаний (проверка) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Зазоры в клапанах ГРМ (регулировка) | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ротокапы клапанов (проверка) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка ДГ на вибрацию | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка состояния изоляции | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка стартера | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка насоса охлаждения | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Охлажд. жидкость (не ELS) - замена | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Система охлаждения ELC (добавить) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Замена охл. жидкости ELC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Оценка целесообразности м/чистки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Осмотр ежедневный | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Уровень охлаждающей жидкости | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Контактные эл/соединения | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Индикатор чистоты возд. фильтра | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка уровня масла | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Спуск воды из ФГО топлива | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Осмотр генератора | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Проверка водоподогревателя | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Осмотр еженедельный | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Контроль температуры подшипников | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Приборная панель | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Обогреватель (space heater) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| по состоянию | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 2. Рекомендованный график ПШО и ППР двигателя C9 фирмы Caterpillar

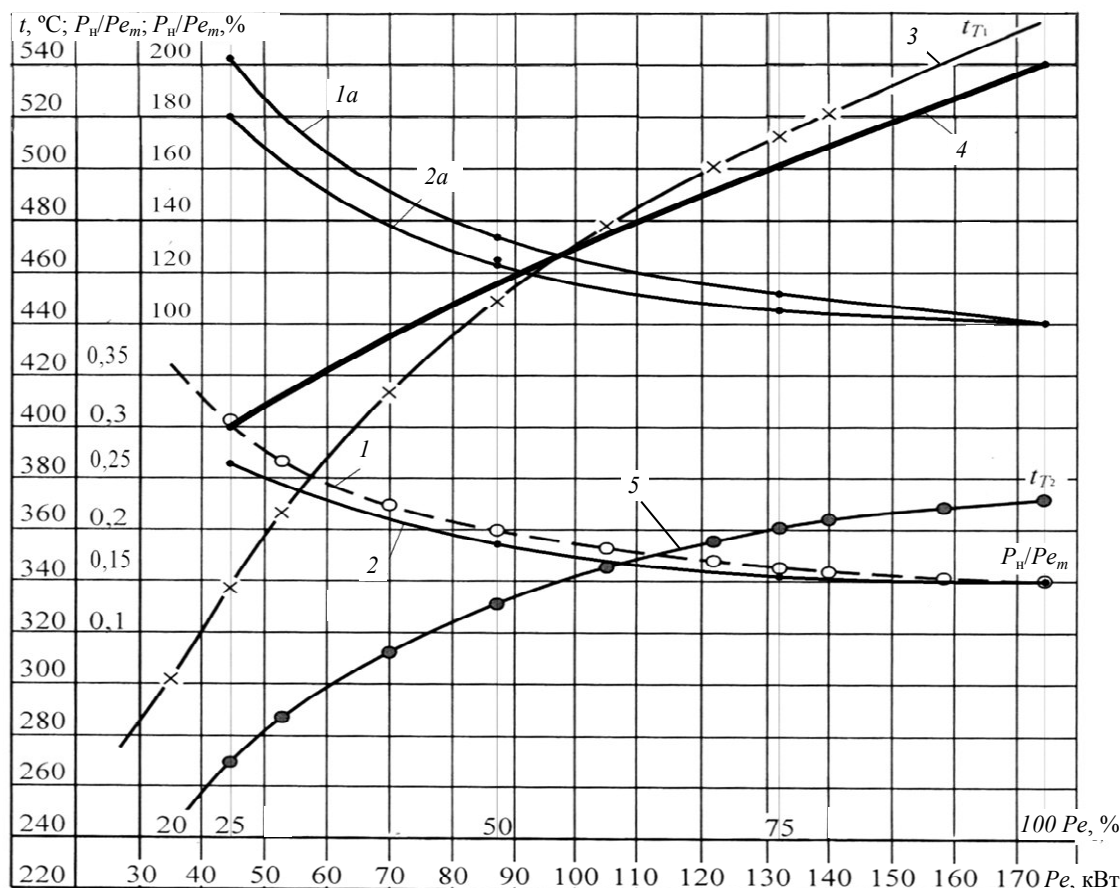


Рис. 3. Изменение условий воздухообеспечения и температуры отходящих газов дизелей С9 CAT и S20 Sulzer при различных нагрузках:

- 1 – характер протекания параметра P_n / P_{e_m} и его процентное изменение – 1а – у дизеля С9 мощностью 175 кВт;
- 2 – характер протекания параметра P_n / P_{e_m} и его процентное изменение – 2а – у дизеля S20;
- 3 – температура отходящих газов перед турбиной дизеля С9;
- 4 – температура отходящих газов перед турбиной дизеля S20;
- 5 – температура отходящих газов за турбиной дизеля С9

Как следует из графических зависимостей на рис. 3, отношение P_n / P_{e_m} имеет равные значения у обоих двигателей (0,15) при номинальной нагрузке и остаётся практически одинаковым до нагрузки 50 %, изменяясь по одному закону. При дальнейшем уменьшении нагрузки у сравниваемых двигателей до 25 % от P_e параметр воздухоподачи дизеля С9 возрос на 201 %, а у дизеля S20 – на 180 %. Увеличение расхода воздуха отразилось на изменении температуры отработавших газов перед турбиной. Если на режимах полного хода эти температуры сопоставимы и различались на +18 °С у CAT, то на режимах 25 % от номинальной мощности эта температура стала ниже на 60 °С. В результате некоторого обеднения смеси, а также возможных особенностей закона подачи и параметров процесса впрыскивания топлива при электронном управлении, удельный расход топлива на дизеле С9 возрос значительней, чем у дизеля S20 в указанном диапазоне изменения мощности (рис. 4).

Как следует из графиков, при нагрузках более 60 % характер изменения удельного расхода топлива совершенно одинаков. Но уже при нагрузке 25 % g_e у дизеля S20 возрастает на 15 %, а у дизеля С9 – на 25 %, при дальнейшем резком росте g_e к 35 %, с уменьшением нагрузки к 15–20 % от номинальной мощности.

Более высокий (на 5 %) удельный расход топлива у дизеля С9 на полной нагрузке может быть связан с фактором большей быстроходности и, возможно, экологическими особенностями построения рабочего процесса.

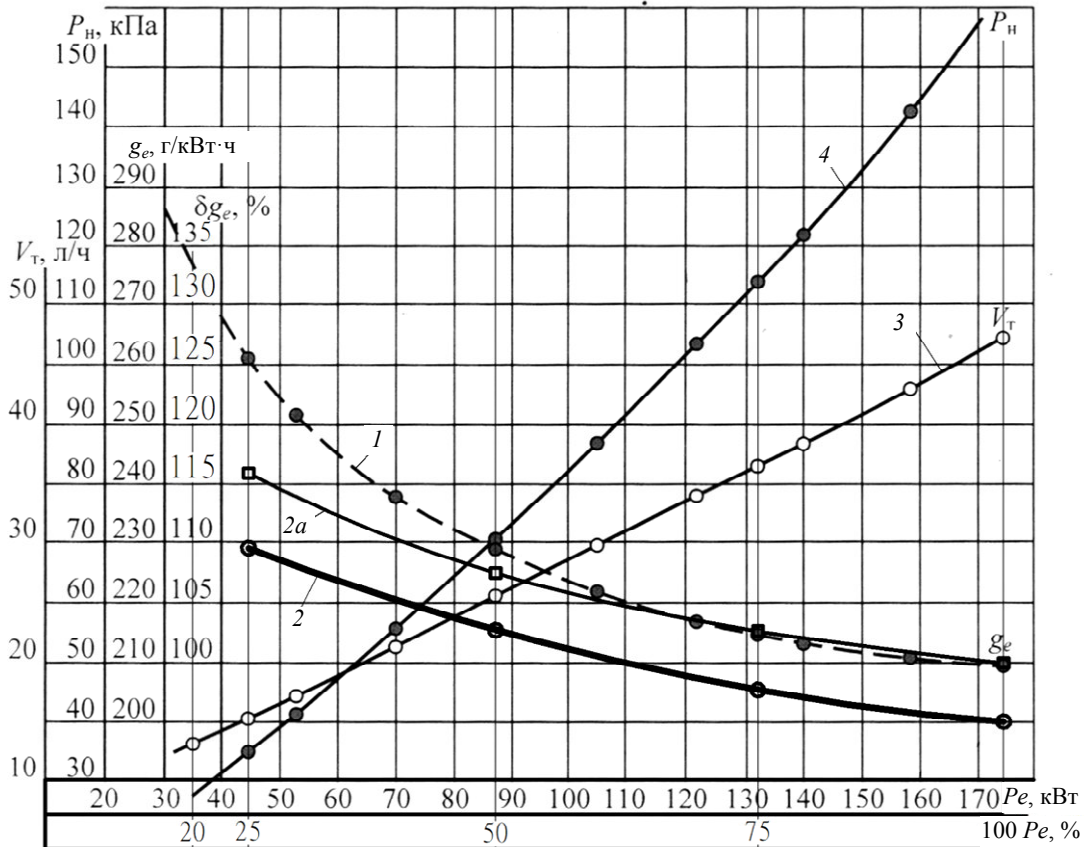


Рис. 4. Сравнительное изменение удельного расхода топлива g_e , в г/(кВт·ч) и в процентах, дизелей С9 CAT и S20 Sulzer на различных режимах:
 1 – удельный расход топлива дизеля С9 и процент его изменения;
 2 – удельный расход топлива дизеля S20 и процент его изменения – $2a$;
 3 – объёмный расход топлива, л/ч; 4 – давление наддува двигателя С9, кПа

Рост удельного расхода топлива при нагрузках ниже 50 % от номинальных значений связан с резко возрастающим обеднением смеси (см. рис. 3).

Анализ работоспособности элементов и систем дизеля С9

1. Топливная система.

С момента установки дизелей на судно в первом квартале 2009 г. их наработка за 4 года составила 13,4–15,0 тыс. ч, что вдвое ниже ожидаемой ввиду простоев из-за низкой надёжности топливной аппаратуры и многих элементов дизеля. Ненадёжность топливной аппаратуры объясняется сложностью конструкции насос-форсунок при высоких требованиях к чистоте топлива (до 2 мкм) и его качеству. Следует отметить, что многие ответственные детали дизеля, включая форсунки, являются не ремонтпригодными в судовых условиях и неразборными.

В процессе электронно-управляемого впрыска, очевидно, происходит заедание в сложных элементах насос-форсунки, которые приводят к сообщению гидросистемы масла с топливной системой и подаче большого количества топлива в систему масляного гидропривода форсунки и далее в картер двигателя.

В течение 2–3 ч уровень смеси «масло – топливо» в картере увеличивается на несколько сантиметров. Этот отказ не фиксируется датчиками системы управления в целом и тем более не выявляет дефектную форсунку при диагностировании сервисными специалистами (как в «Амурмашинери», так и в сервисном центре фирмы CAT в порту Пусан). Диагностика не отмечает каких-либо ненормальностей вообще, и только после сообщения механиками о протечках топлива сервисные специалисты рекомендуют поменять форсунки. Далее проблема решает-

ся заменой всех шести форсунок стоимостью около 1 500 долл. США за каждую. Дальнейшая проверка и ремонт форсунок выполняются на заводе-строителе по цене, равной новой форсунке, и, конечно, завершается закупкой новых форсунок.

Топливо может попадать в масляную систему также через сальник подкачивающего топливного насоса, который уплотняет и разделяет его от гидропривода активации (см. рис. 1).

За время эксплуатации пришлось менять 3 комплекта форсунок.

Основной причиной всех отказов дизеля фирма считает несоответствие используемого топлива.

В настоящее время на судах применяется лёгкое топливо типа TCM (топливо судовое маловязкое), близкое по составу к дизельному летнему.

На основных дизель-генераторах судна (дизели автотракторного типа фирмы MAN типа D2842LE) в качестве фильтров грубой очистки использовались только бумажные фильтро-элементы невысокой тонкости отсева (до 25 мкм).

Для лучшей очистки этого топлива на дизелях С9 по рекомендации фирмы дополнительно к фильтрам установлены очистители Rakog, а также топливные сепараторы СЦ 1,5. Однако радикального улучшения в работе дизелей не последовало.

2. Гидронасосы активации.

Отмечается очень узкий диапазон допускаемых отклонений давления в гидронасосе активации или низкое качество насосных пар многоплунжерных насосов. Через 5 300 ч обнаружилось срабатывание диагностических кодов и колебание частоты тока с последующей далее заменой гидронасосов активации по цене 3 500 долл. за единицу.

3. Элементы топливной системы.

Выявилась неустойчивая работа двигателя при нагрузке более 35 % из-за отказа в работе предохранительного клапана на топливоподкачивающем насосе с последующей заменой насоса.

4. Система охлаждения.

Потребовалась замена охлаждающего насоса из-за разрушения крыльчатки. Следует отметить, что все эти нарушения выявляются только по сигналу датчиков «Диагностика», поскольку не предусмотрен контроль параметров традиционными приборами. Причины может выявить только сервисный инженер по данным компьютера после прихода судна в порт. Низким оказалось качество воздухоохладителей турбонаддува, где потребовалась пайка водотечных швов.

5. Электронная система управления.

На танкере «Марин Альянс» имели место неоднократные отказы компьютера (С9 САТ, серийный номер SJB00490), которые описаны в рапорте старшего механика от 18.09.2012 г.:

«К 2012 г. дизель отработал 13 920 ч с многочисленными отказами в системах топливоподачи. В данное время при работе САТ с рабочими параметрами частота тока резко падает до 45 Hz, и, соответственно, напряжение; обороты снижаются до 1 290 мин⁻¹, генератор продолжает работать.

На дисплее сигнал «Диагностика» не загорается. После снятия нагрузки с САТ обороты возвращаются, дизель работает устойчиво под нагрузкой с рабочими параметрами. Падение давления на топливных фильтрах не наблюдается. Дважды после таких отказов меняли топливные и воздушные фильтры, но в итоге отказы повторялись. Провели эксперимент: при работающем двигателе поочередно разъединяли фишки датчиков контроля, включая датчик частоты вращения: изменений никаких – на дисплее ничего не высвечивается, частота не падает, двигатель работает. Отсюда возникает вывод: главный компьютер САТ «не видит» проблемы в работе двигателя и поэтому на неё не реагирует».

6. Комплектующие детали.

В первые годы эксплуатации из-за низкого качества различных комплектующих деталей и трещин были заменены масляные трубопроводы активации высокого давления, многие гибкие шланги (дюриты), разрушился электрический двигатель стартера и т. д.

Как упомянуто ранее, любую крупную или мелкую поломку или отказ может выявить и исправить только сервисный специалист со специальным инструментом и электронным ключом для входа в диагностическую систему по приходу в порт. Это касается даже новых форсунок, которые поставляются с программным диском. Только сервисный инженер может ввести новую форсунку в схему, активировать систему и далее запустить двигатель в работу.

7. Работоспособность цилиндропоршневой группы (ЦПГ).

К работе деталей ЦПГ и клапанного механизма замечаний нет, кроме недостаточной работоспособности кулачков распределительного вала.

По нормам фирмы через 12 тыс. ч рекомендуется оценить целесообразность проведения технического обслуживания двигателя (мотористки). Критерии целесообразности обозначены в информационном письме фирмы 47905 для владельцев дизелей CAT, в котором говорится, что «период между ремонтами устанавливается с учётом и на основании статистических данных сервисного обслуживания и ремонтов. При этом выбираются средние значения показателей, характеризующих удовлетворительную работу двигателя. Однако качественное обслуживание двигателей, сопровождаемое результатами регулярно проводимых анализов масла (с учётом режимов и условий работы дизелей) даёт достаточные основания констатировать, что период между ремонтами (вскрытиями) может быть увеличен по сравнению с рекомендациями нашей фирмы, изложенными в сервисной литературе и инструкциях по обслуживанию. При условиях удовлетворительной работы двигателей, отсутствии прорыва газов через поршневые кольца, нормативных показателях расхода топлива и масла и нормальном техническом состоянии дизеля мы рекомендуем продление периода между вскрытиями и выполнение полной разборки деталей ЦПГ только тогда, когда в масле обнаруживается чрезмерная концентрация металлов – индикаторов износа» [6].

На дизелях использовались рекомендованные фирмой масла с частотой замены 500 ч с последующим комплексным анализом проб, включая спектрографические данные по продуктам износа.

Так, на танкере «Марин Альянс» (С9 CAT, серийный номер SJB00490) в процессе наработки двигателя от 5 500 до 14 000 моточасов было выполнено 12 комплексных анализов отработавшего масла. Физико-химические показатели масла находились в допустимых пределах.

В частности, среднее содержание механических примесей составило 0,41 %, что не превышает 20 % от допустимых значений. Всё это указывает на то, что прорывы газов через кольца практически отсутствовали. Нормальное состояние поршневых колец и цилиндровых втулок подтверждается также не возросшим расходом масла на угар. Концентрация основных металлов – индикаторов износа деталей ЦПГ и подшипников – составляла: 1) железо – 13,7 г/т (допускаемое значение – 50–70 г/т); 2) свинец – 6,14 г/т (допускаемое значение – 15–25 г/т); 3) олово – 1,0 г/т (допускаемое значение – 5,0 г/т); 4) хром – 1,5 г/т (допускаемое значение – 10,0 г/т).

На танкере «Георгий Фройер» с однотипным дизель-генератором С9 фирмы Caterpillar под заводским номером SJB00492 индикаторы износов ЦПГ и подшипников оставались допустимыми до конца наблюдения при наработке 14 000 ч.

Несмотря на явную нецелесообразность вскрытия цилиндров, сервисный центр «Амур-машинери» предложил выполнить профилактический ремонт в полном объёме на их сервисном участке. Стоимость ремонта, даже без учёта демонтажа и последующего монтажа двигателей в машинном отделении судна, сопоставима с их начальной стоимостью.

Учитывая изложенные выше негативные факторы, судоходная компания прекратила дальнейшую эксплуатацию этих двигателей.

Заключение

Стоимость деталей и сервисного обслуживания очень высока. Система диагностики любых отказов и их устранение недоступно машинной команде. В ряде случаев, например с отказами форсунок, контролем за распределением нагрузки по цилиндрам, нарушениями в работе компьютерной системы управления процессами в двигателе, диагностика далека от совершенства. За 4 года эксплуатации расходы на сервисное обслуживание и приобретение запасных частей составили (по неполным данным) более 60 % от стоимости дизелей. Для надёжной работы двигателей требуются высокое качество и чистота топлива, что не всегда возможно при морских бункеровках.

Учитывая недостаточную надёжность данных дизелей, полную зависимость от сервисного центра и невозможность проведения даже мелкого ремонта силами экипажа, эксплуатация данных двигателей на судах промыслового и транспортного флота в длительных экспедициях и продолжительных рейсах не обеспечит безопасность мореплавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеров В. Н., Соболенко А. Н. Анализ развития аварийной ситуации с главным дизелем 8NVD48A2-U на траулере «Советское» // Вестн. Инженер. шк. Дальневосточ. федерал. ун-та. 2018. № 2. С. 49–55. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/> (дата обращения: 22.05.2018).
2. Маницын В. В., Соболенко А. Н. Анализ повреждений рамовых подшипников двигателей 8NVD48A-2U на промысловых судах // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. Вып. 6 (40). С. 150–155.
3. Соболенко А. Н. Характерные аварийные отказы судовых дизелей в эксплуатации по причине человеческого фактора // Мор. интеллектуал. технологии. 2016. № 3 (33). Т. 1. С. 173–179.
4. Кучеров В. Н. Особенности рабочего процесса, эксплуатация и ресурсные возможности дизель-генераторов альтернативного типа // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 4. С. 59–65.
5. Конкс Г. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2005. 512 с.
6. Сервисное руководство и данные стендовых испытаний дизеля С9 фирмы Caterpillar. URL: https://sinref.ru/avtomobili/Belarus/270_caterpillar-promysh-naznach-c9/007.htm (дата обращения: 22.05.2018).
7. Lustgarten G. A. The Sulzer S20 - An Engine for the 90. Schiff & Hafen/Kommandobrücke, Heft 12/1988. P. 38–42.

Статья поступила в редакцию 31.05.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кучеров Владимир Никанорович – Россия, 690059, Владивосток; Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского; канд. техн. наук; профессор кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания; Nadezkin@msun.ru.



**OPERATING CHARACTERISTICS, RUNNING
AND RESOURCES OF MODERN AUXILIARY DIESEL ENGINE
WITH ELECTRONIC CONTROL**

V. N. Kucherov

*Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation*

Abstract. The article focuses on the general characteristics of the new generation electronically controlled marine diesel engine Caterpillar C-9. The principles of operation and composition of the elements involved in the organization of the workflow, monitoring and diagnostics of engine parameters in operation have been listed. There has been presented a schematic circuit of the engine electronic control system, which includes a hydraulic pump to activate the injection process, circulation lubrication pipeline, fuel filter, oil filter, oil cooler, nozzles. The recommended schedule of preventive inspections and repairs of Caterpillar C9 diesel engine has been analyzed; its environmentally friendly characteristics have been evaluated. There was made the comparison of the changes of workflow parameters of Caterpillar C9 diesel engine with S20 Sulzer diesel engine with conventional control under different loads. The results of long-term operation of both diesel engines are given; structural shortcomings associated with the insufficient quality of many component parts are analyzed. High requirements for fuel quality and purification have been mentioned. The engine has no indicating instrumentation, diagnostics of failure of any element or system, as well as its elimination is performed only by a service technician who can enter the database. Practical examples of the repeated failures in the engine computer control system of the tanker “Marine Alli-

ance” and attempts to reveal their sources are specified in the senior engineer’s report. The structural complexity of fuel supply elements and engine workflow control systems along with the dependence of the engine team on the service center lead to difficulties in operation, significant financial costs and reducing engine operational time.

Key words: diesel engine, diesel-generator, operational process, electronic control, diagnostics, technical service, failures.

For citation: Kucherov V. N. Operating characteristics, running and resources of modern auxiliary diesel engine with electronic control. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;3:63-72. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-63-72.

REFERENCES

1. Kucherov V. N., Sobolenko A. N. Analiz razvitiya avarijnoj situacii s glavnym dizelem 8NVD48A2-U na traulere «Sovetskoe» [Analysis of emergency on main diesel engine 8NVD48A2-U on board the trawler “Sovietskoye”]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2018, no. 2, pp. 49-55. Available at: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/> (accessed: 22.05.2018).
2. Manicyn V. V., Sobolenko A. N. Analiz povrezhdenij ramovyh podshipnikov dvigatelej 8NVD48A-2U na promyslovyh sudah [Analysis of frame bearings damage on 8NVD48A-2U engines on fishing vessels]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, iss. 6 (40), pp. 150-155.
3. Sobolenko A. N. Harakternye avarijnye otkazy sudovyh dizelej v ekspluatcii po prichine chelovecheskogo faktora [Typical failures of ship diesel engines in operation due to the human factor]. *Morskie intelektual'nye tekhnologii*, 2016, no. 3 (33), vol. 1, pp. 173-179.
4. Kucherov V. N. Osobennosti rabocheho processa, ekspluatciya i resursnye vozmozhnosti dizel'-generatorov al'ternativnogo tipa [Specific features of workflow, operation and resource capabilities of alternative-type diesel generators]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2018, no. 4, pp. 59-65.
5. Konks G. A. *Mirovoe sudovoe dizelestroenie. Konceptii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta: uchebnoe posobie* [World marine diesel manufacturing. Concepts of construction, analysis of international experience: teaching guide]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 512 p.
6. *Servisnoe rukovodstvo i dannye stendovyh ispytaniy dizelya S9 firmy Caterpillar* [Service manual and bench test data for Caterpillar C9 diesel engine]. Available at: https://sinref.ru/avtomobili/Belarus/270_caterpillar-promysh-naznach-c9/007.htm (accessed: 22.05.2018).
7. Lustgarten G. A. *The Sulzer S20 - An Engine for the 90. Schiff & Hafen/Kommandobrücke*, Heft 12/1988. Pp. 38-42.

The article submitted to the editors 31.05.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kucherov Vladimir Nikanorovich – Russia, 690059, Vladivostok; Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy; Candidate of Technical Sciences; Professor of the Department of Ship Internal Combustion Engines; Nadezkin@msun.ru.

