

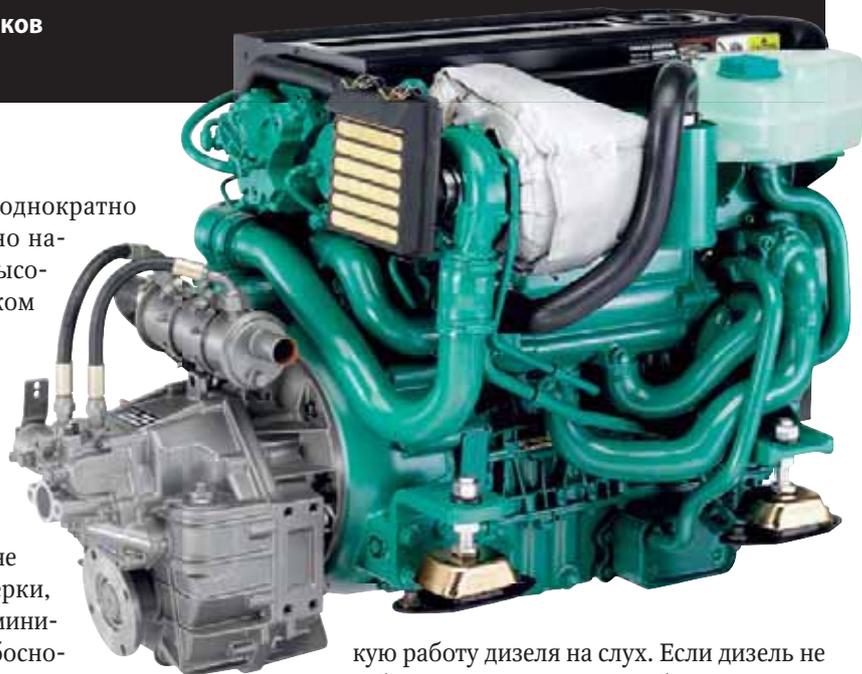
Высокооборотный дизель или...

Борис Синильщиков и Валерий Синильщиков

В статьях, опубликованных в «КиЯ», неоднократно высказывалось сомнение относительно надежности современных иностранных высокооборотных дизелей при работе на российском дизельном топливе.

На первый взгляд, этому противоречит опыт многих автолюбителей, которые на легковых автомобилях с высокооборотными дизелями проехали на российском топливе десятки тысяч километров и остались весьма ими довольны. Можно, конечно, ответить, что большинство таких машин эксплуатируются в районе больших городов, где, как показывают проверки, качество солярки может быть даже выше, чем минимально требуемое ГОСТ. Однако для более обоснованного ответа необходимо рассмотреть особенности работы дизелей на плохой солярке.

Действительно, характеристики российского дизельного топлива (согласно ГОСТ) по цетановому числу и по содержанию серы не соответствуют требованиям, предъявляемым к топливу для современных высокооборотных дизелей. На речном транспорте качество солярки может быть еще хуже, так как там используются дизели с частотой вращения более 1500 об/мин, которые могут работать даже на смеси солярки с моторным топливом. Высокое содержание серы приводит к ускоренному износу деталей цилиндропоршневой группы (с этим еще можно бороться, используя высококачественные масла с присадками), а также насосов высокого давления и форсунок. Понижение цетанового числа топлива увеличивает задержку воспламенения, что приводит к жесткой работе дизеля (давление в цилиндре повышается резко, увеличивается максимальное давление), а это вызывает ускоренный износ цилиндропоршневой группы. Более позднее воспламенение приводит к тому, что фаза догорания начинает составлять значительную часть такта расширения, в результате чего меньшая часть энергии переходит в механическую работу. При этом снижаются экономичность и мощность двигателя, повышается температура выхлопных газов и поршня, компрессионных колец, выпускного клапана, турбины нагнетателя. Эти явления максимальным образом проявляются при работе дизеля на полной нагрузке (с максимальным крутящим моментом) и на полных оборотах. Процессы, происходящие в дизеле при этом, напоминают процессы, возникающие при работе бензинового двигателя на обедненной смеси. Спортсмены знают, что двигатель, работающий на полной мощности с обедненной смесью, может выйти из строя за несколько минут. То же самое может произойти и с дизелем. Опытный механик определяет жест-



кую работу дизеля на слух. Если дизель не набирает максимальных оборотов, соответствующих данной нагрузке (при прочих неизменных условиях), то можно предположить, что топливо некачественное. Если у дизеля уменьшилась компрессия за счет пригорания колец или обгорания выхлопного клапана и если этот клапан заводится, а нагнетатель начинает стучать или произошла поломка этих узлов, то, весьма вероятно, причиной этого стало некачественное топливо.

Однако на таких режимах автомобили при обычной эксплуатации либо вообще не работают, либо работают в течение очень короткого времени. Подобные режимы возникают в конце разгона или при движении в гору. При движении по ровной дороге даже на скорости 120 км/ч число оборотов дизеля составляет 0.7–0.8 максимальных, а нагрузка (крутящий момент) – 0.6–0.8 максимального крутящего момента. В этом режиме задержка воспламенения не столь существенна, как на максимальных оборотах. Жесткость работы и максимальное давление при этом будут выше, чем при работе на нормальном топливе на этих же оборотах, но ниже, чем при работе на нормальном топливе на максимальных оборотах. Температура выхлопных газов окажется выше, чем при работе на нормальном топливе на этих же оборотах, но ниже, чем при работе на нормальном топливе с максимальным крутящим моментом. Таким образом, специфика работы дизеля на автомобиле практически исключает опасные режимы при использовании низкокачественного дизельного топлива и наиболее опасные последствия его использования, (хотя и не исключает уменьшения ресурса).

Теперь – несколько слов о ресурсе двигателей. Ресурс автомобильных двигателей выражается в километрах, а тракторных – в моточасах. Счетчики моточасов, установленные на тракторах, фактически считают не часы, а обо-

роты, и один моточас соответствует $n_{\text{ном}} 60$, где $n_{\text{ном}}$ – номинальное число оборотов в минуту (число оборотов при номинальной мощности). Это связано с тем, что износ цилиндропоршневой группы, который, как правило, и определяет ресурс двигателя, в первом приближении можно его считать пропорциональным числу оборотов. Если учесть, что легковые автомобили проходят на нижних передачах в среднем одинаковое относительное расстояние (достаточное небольшое), то ориентировочно их ресурс по пробегу можно пересчитать в ресурс по моточасам. Ресурс двигателей современных легковых автомобилей с карбюраторными двигателями и дизелями составляет 200–300 тыс. км. По пересчету это означает, что их ресурс при работе на номинальных оборотах должен составить 1000–2000 часов, а на уменьшенной мощности при числе оборотов $0.5n_{\text{ном}}$ от $n_{\text{ном}} = 2000–4000$ часов. Если последние числа (для уменьшенной мощности) достаточно реальны, то в случае постоянной работы в режиме, близком к максимальной мощности, как показывает опыт эксплуатации, происходит ускоренный износ двигателей, и первые числа являются теоретическим пределом, который практически никогда не достигается. При этом необходимость в ремонте двигателя, даже работающего на качественном топливе, может возникнуть значительно раньше – через 600–1500 часов (меньшие значения относятся к двигателям, конструкция которых недостаточно отработана). При этом может потребоваться замена поршней (вследствие износа канавок под кольца по высоте или отверстий под палец) или обгоревших выхлопных клапанов. И хотя данный ремонт не является капитальным, но стационарный двигатель придется демонтировать с катера, перевезти в мастерскую и снова смонтировать – мероприятия весьма трудоемкие и хлопотные.

Использование низкосортной солярки может привести к необходимости преждевременной замены форсунок и насоса высокого давления. Это не столь трудоемкая операция, но их стоимость (например, для системы «Common Rail») будет близка к стоимости нового дизеля «ММЗ» («Беларусь»). Заметим, что давление впрыска в современных высокооборотных дизелях в 10 раз выше, чем в тракторных, и можно предположить, что ресурс данных узлов при работе в одинаковых условиях (на одинаковой солярке) будет отличаться примерно во столько же раз. Реальный ресурс менее форсированных тракторных дизелей с частотой вращения до 2300 об/мин при работе в режиме 0.9 максимальной мощности составляет 6000–9000 часов.

Пробег до капремонта современных легковых автомобилей с дизелями и с карбюраторными двигателями (при близкой мощности) в целом отличается незначительно. Поскольку мощные высокооборотные дизели для катеров, как и мощные ПМ, либо созданы на основе автомобильных двигателей, либо имеют аналогичную им конструкцию, это справедливо и для них. Правда, в отличие от дизеля, снятие и установка ПМ для ремонта, особенно при суммарной мощности до 140 л.с. и при использовании двухмоторной схемы, когда вес каждого мотора относительно невелик, не представляют сложности и могут быть выполнены силами экипажа.

Проведем более подробное сравнение дизеля и четырехтактного ПМ в случае их установки на различные катера.

Удельный расход топлива современных четырехтактных ПМ в режимах, близких к максимальной мощности – 220–240 г/(л.с.·ч.), т. е. на 20–25% больше, чем у высокооборотных дизелей – 170–190 г/(л.с.·ч.). Отметим, что заявленную экономичность высокооборотного дизеля можно достичь только при работе на качественном дизельном топливе.

Установка на катер водоизмещением около 2 т, в том числе и на рассмотренный авторами глиссирующий катер минимальных размеров (см. «КиЯ» № 219), высокооборотного дизеля вместо ПМ не увеличит его габариты, но приведет к увеличению водоизмещения на 150–200 кг. Так как КПД винтов при использовании ПМ и высокооборотных дизелей на скоростях глиссирования 35–45 км/ч близкие (достаточно высокие), то расход топлива (весовой) у глиссирующего катера с ПМ будет больше на 10–15%, чем с дизелем. Оба двигателя на глиссирующих катерах работают в режиме 0.7–1.0 максимальной мощности. Одно из преимуществ дизеля – уменьшенный расход топлива на частичных нагрузках (0.1–0.6 максимальной) на глиссирующем катере не используется. И хотя цена одного килограмма дизельного топлива заметно меньше стоимости одного килограмма бензина, стоимость высокооборотного дизеля настолько превышает стоимость ПМ, что оправдать ее за счет меньших затрат на топливо невозможно даже за время полного ресурса дизеля. В связи с тем, что надежность дизеля, работающего на заведомо некачественной солярке, будет ниже, чем ПМ, установка последнего на глиссирующий катер в данных условиях вполне оправдана.

Установка тяжелого тракторного дизеля на глиссирующий катер существенно увеличивает его водоизмещение, так как для его размещения еще приходится увеличивать длину, а следовательно, и вес катера. Проработки показывают, что создать эффективный глиссирующий катер с тракторным двигателем невозможно. Да и основное преимущество тракторного дизеля – значительный ресурс – для глиссирующего катера окажется невостребованным.

Учитывая, что КПД винтов мощных ПМ на скорости 40 км/ч оказывается не столь высоким (менее 0.6), а на скоростях выхода на глиссирование – совсем низким (менее 0.4) на относительно небыстроходных глиссирующих катерах водоизмещением более 3–4 т установка с ПМ заметно ухудшает их эксплуатационные характеристики. Поэтому на такие катера чаще устанавливаются высокооборотные дизели, несмотря на их чувствительность к плохому топливу, а мощные ПМ – на катера со скоростью более 50 км/ч.

Для быстроходного водоизмещающего катера (см. статью авторов на с. 38) установка ПМ вместо дизеля приведет к уменьшению водоизмещения, но потребная мощность уменьшится в меньшей степени, чем для глиссирующего катера, так его сопротивление определяется не только водоизмещением, но и длиной. Сравним экономичность такого катера с достаточно тяжелым (вес 430 кг) низкооборотным минским дизелем «45.9 ММЗ» мощностью 127 л.с. и с четырехтактным ПМ такой же мощности. Катер с дизелем будет иметь вес (с учетом редуктора, деталей валопровода и др.) на 400 кг больше, что увеличит его сопротивление на 10%. Однако на скорости 25 км/ч КПД винта ПМ падает до 0.52. В то же время при использовании дизеля с редуктором КПД винта, имеющего значительно меньшие обороты (и соответ-

ствующие этим оборотам размеры), остается достаточно высоким – 0.68. В результате расход топлива (в кг) более тяжелого катера с дизелем оказывается уже на 30–35% меньше, чем с ПМ. На скоростях, соответствующих горбу сопротивления (18 км/ч), КПД винта ПМ оказывается еще меньше (0.44) в то время как КПД дизельного винта уменьшается незначительно (0.65). Разница в расходе топлива увеличивается до 1.45–1.5 раз. С таким низким КПД катер с ПМ мощностью 120 л.с. может не преодолеть «горб сопротивления».

На крейсерской скорости 15–16 км/ч сопротивление катера существенно падает, падает и потребная мощность (до 30–35 л.с.). В результате КПД винта ПМ возрастает до 0.46. КПД дизельного винта возрастает до 0.66. Оба двигателя работают на частичных нагрузках, когда увеличиваются потери, в том числе и механические (на вращение самого двигателя, реверс-редуктора, привод насосов и генератора), что приводит к увеличению удельного расхода топлива. Однако на частичных нагрузках дизель работает на сверхбедной смеси, что позволяет частично компенсировать увеличение механических потерь. Напомним, что экономичность на сверхбедных смесях связана с увеличением коэффициента адиабаты у выхлопных газов, в результате чего большая часть тепловой энергии переходит в полезную работу. Бензиновые двигатели работать на сверхбедных смесях не могут, так как искрой такие смеси не поджечь. На этих скоростях дизель экономичнее уже в 1.7–1.9 раз.

На экономичной скорости 10–12 км/ч потребная мощность падает до 5–10 л.с. Это приводит к тому, что КПД винта ПМ повышается до 50–55%, и разница в расходах несколько уменьшается. Оба двигателя работают с большими механическими потерями и высоким удельным расходом топлива (увеличивается в два и более раз). Это не удивительно, так как число оборотов (по сравнению с максимальными) упало в 2.5 раза, а мощность уменьшилась в 12–24 раза. Если предполагается длительная эксплуатация катера на таком режиме, то частично уменьшить расход можно за счет установки заводом тяжелого винта. Такой винт уменьшит обороты двигателя, что приведет к уменьшению механических потерь и удельного расхода (как ПМ, так и дизеля), а также повысит КПД винта (особенно ПМ).

Все приведенные выше рассуждения, относящиеся к среднеоборотным дизелям, можно отнести и к высокооборотным, если реверс-редуктор имеет соответствующее передаточное отношение (1/3.5–1/4).

Таким образом, установка на рассматриваемом катере неприхотливого низкооборотного дизеля ММЗ (или ему подобного) дает существенные преимущества по сравнению с ПМ по расходу топлива, ресурсу и частично по ремонтпригодности, а по сравнению с высокооборотным импортным дизелем – по стоимости, ресурсу и ремонтпригодности.

Аналогичным образом обстоит дело и при установке двигателя на тихоходный водоизмещающий катер. Потребная мощность для движения катера водоизмещением 2–3 т на экономичных скоростях (9–11 км/ч) составляет несколько лошадиных сил. Однако для запаса (движение против сильного ветра или течения) на них ставятся двигатели мощностью 15–30 л.с. Малый вес ПМ незначительно уменьшает водоизмещение и практически не уменьшает сопротивление катера. На режиме полной мощности достаточно высокая экономичность ПМ нивелируется низким КПД винта. На экономичной скорости ПМ имеет низкую экономичность в сочетании с невысоким КПД винта.

При использовании стационарного карбюраторного двигателя на режиме полной мощности достаточно высокая экономичность сочетается с высоким КПД винта (при установке соответствующего редуктора). На экономичной скорости двигатель имеет низкую экономичность в сочетании с высоким КПД винта. При использовании дизеля на режиме полной мощности высокая экономичность сочетается с высоким КПД винта (при установке соответствующего редуктора). На экономичной скорости двигатель имеет удовлетворительную экономичность в сочетании с высоким КПД винта.

Следовательно, дизель по сравнению с ПМ в данном случае может оказаться экономичнее в два раза.

Игорь Лагутин

В прошлом номере мы немного поговорили об использовании небольших кроссоверов в роли тягача. Настало время рассказать о «больших» кроссоверах.

Сначала определимся, о чем, собственно, пойдет речь. В категорию «больших» кроссоверов (в нашем понимании) попадают автомобили, которые часто называют также «паркетниками». Основными отличиями автомобилей этого класса являются кузов-универсал, достаточно большой дорожный просвет, возможность использования полного привода или «постоянный полный привод», мощные «литражные» моторы и достаточно неплохая проходимость по дорогам с грейдерным покрытием. Благодаря мощным моторам и большому весу эти автомобили могут перевозить трейлеры с лодками, однако большинство не очень хорошо справляется со спуском лодки или катера на воду, а также с их подъемом из воды. Чтобы не усложнять ситуацию, мы отнесем к разряду (не классу) «больших» кроссоверов и те автомобили, которые по американской традиции называются SUV, или «Sport Utility Vehicle», т. е. нечто среднее между обычными универсалами и «внедорожниками».

Современные кроссоверы со снаряженной массой более 2 т имеют (с полной загрузкой) дорожный просвет от 16 до 25 см в зависимости от модели. Получается, что в некоторых случаях их проходимость не столь впечатляющая, как у более скромных кроссоверов, массой менее 2 т. У «больших» кроссоверов и колея шире, и колесная база больше, а дорожный просвет примерно такой же, как у кроссоверов классом ниже. И ездить на них по сложным лесным дорожкам, да и по российскому грейдеру надо осторожнее. С выездом на off-road и вовсе придется быть очень внимательным, особенно если ситуация осложняется наличием прицепа.

Большинство рассматриваемых се-