

А. Н. Сарапин, Г. М. Кокин

## ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Повышение производительности и снижение эксплуатационных расходов автомобилей и тракторов неразрывно связано с повышением надежности и долговечности устанавливаемых на них двигателей.

Под надежностью двигателя понимается способность обеспечивать работу машин в течение рабочей смены без вынужденных простоев по техническим причинам, связанным с устранением неисправностей; под долговечностью — способностью длительной работы двигателя с перерывами для технического обслуживания и производства текущего ремонта. Долговечность двигателя характеризуется его техническим ресурсом, т. е. сроком службы до капитального ремонта. Срок службы двигателя для автомобилей измеряется в километрах пробега, а для трактора в часах работы.

Надежность и долговечность двигателя зависят от конструктивных и технологических факторов и условий эксплуатации.

К числу конструктивных и технологических факторов относятся: правильный выбор типа двигателя, величины мощности и характеристики его для установки на той или иной машине; улучшение организации рабочего процесса двигателя; применение надлежащих материалов для деталей, их термическая обработка, упрочнение, антикоррозийная и антиабразивная защита рабочих поверхностей с обеспечением надлежащей смазки; соблюдение геометрии деталей с обеспечением оптимальных рабочих зазоров, чистота обработки и качество приработки рабочих поверхностей, прочность и жесткость и т. д.

Основными элементами, обуславливающими долговечность двигателя, являются: рациональная научно обоснованная организация технического обслуживания, качество эксплуатационных материалов, режимы работы машин, дорожные и другие условия.

Конструкция выпускаемых двигателей непрерывно совершенствуется. Это относится как к удельным показателям (литровая мощность, топливная экономичность, собственный вес и габариты двигателей), так и к долговечности и надежности двигателей.

Повышение литровой мощности двигателей при сохранении или даже уменьшении веса и габаритов увеличивает нагрузки на детали. В таких случаях необходимо применять дополнительные меры по сохранению и увеличению износоустойчивости рабочих поверхностей и увеличению прочности.

С целью сохранения средней скорости поршня в допустимых пределах и уменьшения износов гильз, цилиндра и поршня, а также для лучшей организации рабочего процесса двигателя практикуется уменьшение отношения хода поршня к диаметру цилиндра.

С 1964 г. по настоящее время моторесурс автотракторных двигателей увеличился в 1,5—2 раза (табл. 1).

Срок службы автотракторных двигателей до первого капитального ремонта

Таблица 1

Модель двигателя	Завод-изготовитель	Год выпуска			
		1964	1965	1966	1967*
Бензиновые двигатели (тыс. км пробега)					
ЗИЛ-130	ЗИЛ	100	120	150	200
М-21	ЗАМЗ	120	125	180	225
ГАЗ-53	ЗАМЗ	100	—	150	200
МЗМА-408	МЗМА	75	85	100	
МеМЗ-966	МеМЗ	50	50	75	
Дизеля (час работы)					
ЯМЗ-236	ЯМЗ	2500	4000	5000	6000
ЯМЗ-238	ЯМЗ	2500	4000	5000	6000
СМД-14	3-д „Серп и молот“	3000	3500	4500	—
Д-50	ММЗ	2500	3000	4500	5000
Д-37М	ВТЗ	3000	3500	4500	5000

Примечание. Для двигателей выпуска 1967 г. приведены данные по планируемому сроку службы.

Одним из сложных вопросов повышения общей долговечности двигателя является обеспечение одинакового срока службы всех основных его деталей, подлежащих капитальному ремонту. При этом срок работы до ремонта определяется с учетом большинства наиболее долговечных деталей и сопряжений. Безремонтный срок службы автотракторного двигателя зависит от долговечности прежде всего таких деталей, как коленчатый вал и его вкладыши, поршневые кольца, поршни и гильзы цилиндров, клапаны и клапанные пружины, подшипники шатуна и поршневой палец, головка блока.

1. Мероприятия по повышению долговечности основных деталей. Вкладыши подшипников коленчатого вала. В оте-

чественных автотракторных двигателях получили применение биметаллические вкладыши с антифрикционным слоем толщиной 0,3—0,7 мм из свинцовистого баббита СОС-6-6 (для карбюраторных двигателей) или алюминиевого сплава АСМ (для дизелей). Однако такие вкладыши уже не удовлетворяют возросшим требованиям двигателестроения, так как имеют недостаточный срок службы.

Применение трехслойных вкладышей с антифрикционным слоем СОС-6-6 на медно-никелевом подслое для карбюраторных двигателей дало повышение усталостной прочности на 20%, несколько увеличилась долговечность вкладышей и уменьшился износ шеек.

Дальнейшее повышение долговечности двигателей требует улучшения материала вкладышей коленчатого вала. В настоящее время антифрикционными материалами вкладышей, обеспечивающих высокую долговечность подшипников, для карбюраторных двигателей являются алюминиевый сплав АО-20, для дизелей — свинцовистая бронза БрС-30 и сплав АО-20.

Основными направлениями по увеличению долговечности вкладышей являются: повышение качества и точности изготовления ленты для вкладышей; увеличение точности сопрягаемых деталей; выбор оптимальных зазоров; применение триметаллических стале-алюминиевых вкладышей АО-20 и свинцовистой бронзы БрС-30.

**Поршневые кольца.** Срок работы автотракторных двигателей до ремонта зависит в первую очередь от долговечности маслосъемных колец и верхнего компрессионного кольца.

Низкая долговечность чугунных колец в основном вызывается несовершенством технологии их изготовления. На срок службы колец оказывает также влияние коробление гильз цилиндров.

Для увеличения срока службы поршневых колец ведутся работы в следующих направлениях: совершенствуется технология изготовления колец; разрабатываются методы получения беспросветных колец; применяется покрытие рабочей поверхности верхнего компрессионного кольца слоем пористого хрома; используются двойные скребковые маслосъемные кольца, покрытые слоем хрома (Минский моторный завод — ММЗ).

Преимущества двойных скребковых маслосъемных колец заключаются в их хорошей приспособляемости к неровностям гильзы. При этом обеспечивается высокая износостойкость колец и незначительный угар масла.

Внедрены трапецеидальные компрессионные кольца (ЯМЗ).

Для изготовления колец применяются материалы, обладающие высокой износостойкостью и жаропрочностью (чугуны, легированные вольфрамом и молибденом). Используются также стальные хромированные кольца вместо чугунных.

Ведутся работы по внедрению металлокерамических компрессионных колец, которые имеют износостойкость в 1,5—2 раза больше по сравнению с чугунными. При испытаниях на двигателе

ЗИЛ-130 эти кольца наработали 180 тыс. км пробега. При испытании на двигателе М-21 износостойкость верхнего компрессионного кольца увеличилась в два раза, а маслосъемного — в пять раз, износ гильз уменьшился на 18%.

Поршень. Долговечность поршня определяется износом юбки, торцов канавки верхнего компрессионного кольца и отверстий бобышек. Делаются попытки упрочить поршень в результате применения более износостойких материалов. Вместо алюминиевого сплава АЛ-10В для изготовления поршней автотракторных двигателей внедрен сплав АЛ-25, имеющий более высокую износостойкость и коррозионную стойкость, меньший коэффициент линейного расширения. Последнее свойство этого материала допускает уменьшение зазоров между гильзой и поршнем. Использование сплава АЛ-25 для изготовления поршня значительно повышает износостойкость всех его рабочих поверхностей.

Для увеличения износостойкости рабочей поверхности бобышек применяют раскатку роликом, а верхние кольцевые канавки упрочняются путем накатки торцов. Отдельные заводы для упрочнения верхней канавки поршня проводят работы по внедрению вставки в зоне верхнего кольца из жаропрочного чугуна (нирезист).

Для увеличения долговечности поршней необходимо также повышение точности их изготовления и улучшение геометрии гильз цилиндров.

Гильзы цилиндров. Работоспособность гильзы цилиндра определяется совокупностью таких факторов, как материал гильзы, чистота обработки и твердость рабочей поверхности, достаточность смазки и др. В настоящее время для изготовления гильз цилиндров автотракторных двигателей широко применяют серые легированные чугуны СЧ 21-40, СЧ 24-44 с закалкой рабочей поверхности на глубину 1—2 мм.

Анализ износа гильз из серого чугуна показывает, что максимальный износ гильзы (до 0,3 мм) происходит на расстоянии 50 мм от верхнего торца в зоне сухого трения; ниже этого уровня величина износа снижается и остается постоянной (до 0,05 мм) по всей длине цилиндра. Для упрочнения гильзы в верхнюю ее часть запрессовывают вставки (короткие гильзы) длиной 50 мм и толщиной 2 мм из специального жаропрочного чугуна (нирезист). Такие кислотоупорные жаропрочные короткие гильзы увеличивают долговечность цилиндров в 1,5—2 раза. Для этих гильз применяют высоколегированный кислотоупорный чугун с содержанием 15—17% никеля.

Проводятся работы по внедрению гильз из хромокремнистого чугуна. Применение этого чугуна для гильз дает уменьшение износа в 2—2,5 раза. Хромокремнистый чугун имеет такую же износостойкость, как и нирезист — 1 мк на 1000 км пробега.

Повышение износостойкости зеркала цилиндра также достигается путем применения износостойких покрытий. Таким покрытием является хромирование зеркала цилиндра пористым хромом толщиной 0,05—0,08 мм. Хромирование зеркала цилиндра обеспечивает уменьшение износа в 6—8 раз (0,2 км на 1000 км пробега).

Выпускной клапан. Выпускной клапан является одной из наиболее напряженных деталей двигателя. В процессе работы двигателя выпускные клапаны подвергаются воздействию высоких температур (700—900°C) и коррозионно-агрессивной среды выхлопных газов. Увеличение мощности двигателей и использование высокооктановых этилированных бензинов привело к значительному повышению температуры и агрессивности выхлопных газов.

Наиболее характерными повреждениями выпускных клапанов являются: прогарание рабочих фасок, обрыв клапанов по стержню, зависание клапанов во втулке.

По упрочнению выхлопного клапана проводились следующие работы: применение высококачественных жаропрочных сталей ЭИ-69 (ЯМЗ), ЭИ-107 (ММЗ, харьковский завод «Серп и молот»), ЭП-48 (МЗМА) и др.; применение натриевого охлаждения (ЗИЛ, ГАЗ); наплавка головки клапана стойким сплавом (стеллитом) типа кобальтового ВЗК (ЗИЛ, ГАЗ); применение металлокерамических направляющих втулок клапанов.

Шатуны. Материалом для изготовления шатуна у большинства двигателей является сталь 40Х.

Долговечность шатуна удается увеличить в результате применения дробеструйной обработки (увеличивает усталостную прочность на 15—20%), сталелитейных втулок верхней головки, обкатки роликом отверстия в верхней головке, проверки наличия микротрещин на магнитном дефектоскопе.

Проводились работы по замене стали 40Х на сталь 40ХТМ, усталостная прочность которой в два раза больше.

Коленчатый вал. Долговечность коленчатого вала определяется твердостью и чистотой обработки рабочих поверхностей шеек, точностью выполнения основных элементов геометрии заданными техническими требованиями (эллипсность и конусность шеек, биение шеек и т. д.), а также жесткостью блока цилиндров. Для изготовления коленчатого вала у большинства автотракторных двигателей применяется сталь 45 селек с закалкой шеек токами высокой частоты до 4 мм. Такие валы имеют моторесурс до первого капитального ремонта для карбюраторных двигателей 100—150 тыс. км пробега и для дизельных 4—5 тыс. час работы с незначительным абсолютным износом шеек (0,02—0,04 мм).

Литые коленчатые валы из высокопрочного чугуна ВЧ-50-1,5 (ГАЗ), применяемые в ряде карбюраторных двигателей, имеют износ в два раза меньше, чем кованные, и долговечность в пределах 200 тыс. км пробега.

Для дизельных двигателей коленчатые валы начали изготавливать из стали, рафинированной синтетическими шлаками. Такие валы обладают хорошими эксплуатационными и прочностными качествами (ЯМЗ — сталь 50Г2, ММЗ — сталь 45СШ). Применение стали, рафинированной синтетическими шлаками, позволяет увеличить прочность вала на 15—20%.

**Головка блока.** Наиболее характерными повреждениями головки блока в процессе работы являются трещины по перемычкам между отверстиями клапанов и вставкой камеры сгорания у дизелей и прогорание гнезд клапанов.

Внедрение искусственного старения головок дало резкое снижение трещинообразования и коробления головок. Кроме того, для устранения трещинообразования головок на отдельных двигателях (СМД-14) введены термокомпенсационные прорезы на нижней плите головки, обеспечивающие свободную тепловую деформацию нижней плоскости на участках опасных сечений. Упрочнение гнезд проводится путем установки сменных вставок из жароупорного чугуна (ЯМЗ, ГАЗ, ЗИЛ и др.).

**Блоки цилиндров.** Основными дефектами блока являются недостаточная жесткость и коробление во время работы. Жесткость блока повышается в результате устройства плоскости разъема картера ниже оси коленчатого вала, применения полноопорных коленчатых валов и оребрения в области перемычек коренных опор. Применение искусственного старения блоков (ЯМЗ, ММЗ) снизило деформации блока и обеспечило стабильность геометрических размеров в процессе эксплуатации. Большое значение имеет соблюдение точности исполнения основных размеров блока: расточки постелей, непрямолинейности привалочных плоскостей и др.

**2. Защита от абразивного износа.** Одним из основных путей увеличения долговечности двигателей является защита деталей от абразивного износа.

Абразивные частицы могут попадать в двигатель с воздухом, с маслом и с топливом, а также в результате неправильной технологии сборки двигателя. При попадании абразивных частиц в двигатель происходит быстрый износ деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, топливной аппаратуры и других деталей.

При изготовлении деталей необходимо тщательно очистить блок, коленчатый и распределительный валы и другие детали от формочной земли, опилок, стружки. Загрязнение деталей повышает износы и задиры рабочих поверхностей деталей в начальный период работы двигателя.

Работы по улучшению очистки масла сводятся в основном к усовершенствованию конструкции масляных фильтров. В частности, на двигателях тракторов и некоторых грузовых машин была

установлена масляная центрифуга для очистки масла. Применение полнопоточной центрифуги для очистки масла снижает износ шеек коленчатых валов в 1,5—2 раза.

В качестве фильтров для очистки масла на грузовых автомобилях и тракторах, очевидно, найдут применение полномочные центрифуги, на легковых автомобилях — полнопоточные бумажные фильтры.

Для улучшения очистки дизельного топлива проводятся работы по внедрению в качестве фильтра тонкой очистки бумажного фильтрующего элемента, имеющего высокую тонкость фильтрации и высокий срок службы.

Очистка воздуха, засасываемого в цилиндр двигателя, имеет первостепенное значение. Попадающая вместе с воздухом пыль вызывает усиленный износ клапанов и их седел, гильз цилиндров, поршней и поршневых колец. Пыль попадает также в масляный картер двигателя и приводит к усиленному износу подшипников и других деталей двигателя.

Проводятся работы по улучшению конструкций воздухоочистителей. В большинстве двигателей применяется фильтрующий элемент, изготовленный из капронового волокна (щетины), обладающий хорошими фильтрующими качествами. Фильтрующие элементы, изготовленные из капроновой щетины, позволяют уменьшить износ деталей гильзо-поршневой группы в 1,5—2 раза по сравнению с кассетами из проволоочной путанки.

В настоящее время проводятся исследования по созданию конструкций воздухоочистителей с бумажными фильтрующими элементами, имеющими очень высокие фильтрующие свойства: коэффициент пропуска пыли для бумажных фильтров составляет 0,01—0,05%, а для кассет с капроновой или проволоочной набивками — 1,2—1,5%.

*3. Защита от коррозионного износа.* Коррозионный износ деталей представляет собой результат химического и электрохимического разрушения трущихся поверхностей под действием кислот и газов. Наиболее интенсивно он протекает при низком температурном режиме двигателя.

В процессе сгорания топлива в цилиндрах двигателя образуются водяные пары, а также сернистый газ, если в топливе содержится сера и углекислый газ. При определенных условиях происходит конденсация водяных паров и образование кислот, которые воздействуют в первую очередь на детали гильзо-поршневой группы. Увеличение содержания серы в топливе вызывает более интенсивный коррозионный износ деталей двигателя, особенно при работе с низким температурным режимом. Сернистый газ и пары воды, попадающие в масляный картер с отработавшими газами, также вызывают коррозионный износ деталей коленчатого и распределительного валов.

Опытными данными установлено, что коррозия цилиндров и других деталей возрастает при температуре охлаждающей воды ниже 75°C, а повышение температуры до 90—95°C не увеличивает износа. При понижении температуры воды и масла с 75 до 50°C общий износ деталей двигателя увеличивается в 1,6 раза, а при понижении температуры до 25°C — в 5 раз.

Для защиты деталей двигателя от коррозионного износа разрабатываются и совершенствуются такие эффективные средства, как поддержание нормальной рабочей температуры двигателя (термостаты, жалюзи), вентиляция картера для удаления отработавших газов и паров топлива, применение масел с антикоррозийными присадками (ВНИИ НП-360 и др.), пусковых подогревателей, вставок поршней и гильз из жароупорных антикислотных материалов и др.

4. *Условия эксплуатации.* Как отмечалось, основными элементами, обуславливающими долговечность двигателя и его техническое состояние в период эксплуатации, являются техническое обслуживание, качество эксплуатационных материалов, режимы эксплуатации и дорожные условия.

Техническое обслуживание является профилактическим мероприятием, проводимым в плановом порядке через определенный километраж пробега автомашин или определенные часы работы тракторов, и устанавливается заводскими инструкциями в соответствии с табл. 2.

Примерная периодичность технического обслуживания

Таблица 2

Тип машины	Ежедневное обслуживание	Техническое обслуживание № 1	Техническое обслуживание № 2
Автомобили (км пробега)	Ежедневно	1700	8500
Тракторы (час работы)	Ежедневно	240	960

Назначение технического обслуживания состоит в том, чтобы своевременно предупредить интенсивное изнашивание деталей и предупредить неисправности путем своевременного выполнения регулировочных, смазочных и крепежных работ.

Периодичность технического обслуживания автомобилей в табл. 2 указана при условии эксплуатации автомобилей на дорогах с асфальтобетонным покрытием, находящихся в хорошем состоянии. При эксплуатации автомобилей на дорогах с худшим покрытием и дорогах, находящихся в плохом состоянии, периодичность технического обслуживания сокращается. Для тракторов, кроме указанной в табл. 2 периодичности, проводится также техническое



обслуживание через 60 час работы, предусматривающее, кроме выполнения ежесменного технического обслуживания, промывку масляных фильтров, смазку подшипников водяного насоса, удаление отстоя из топливного бака и др.

Ежедневное техническое обслуживание выполняется водителем или трактористом после окончания рабочего дня, при многосменной работе оно осуществляется после каждой смены. Техническое обслуживание автомобилей должно проводиться в закрытых помещениях, на специально оборудованных постах. Для тракторов ежедневное обслуживание и техническое обслуживание № 1 желательно проводить на полевом стане тракторной бригады с помощью передвижных мастерских, а техническое обслуживание № 2— в закрытом помещении в мастерской хозяйства.

Интенсивность износа деталей двигателя зависит от качества моторного масла и топлива. От качества моторного масла зависит и такой эксплуатационный показатель, как быстрота нагарообразования на поршнях, поршневых кольцах и в камере сгорания. Для улучшения качества масла во время работы к маслам добавляют специальные присадки. Очень часто к маслам добавляют многофункциональные присадки, которые сочетают несколько функций — антиокислительные, противокоррозийные и моющие (противонагарные). Такими присадками являются ВНИИ НП-360, МНИ НП-22к, СБ-3 и др. Применение присадки ВНИИ НП-360 устраняет вредное влияние серы в топливе на работу дизеля. Введение присадки СБ-3 в масло АС-6 в 3—4 раза снижает износы двигателя.

Большое содержание в топливе вредных примесей, таких, как сера, зола, смола, ухудшает его свойства и увеличивает износ двигателя. Так, большой процент серы вызывает повышенный износ деталей, увеличивает нагарообразование и ускоряет старение масла. При увеличении содержания в топливе серы с 0,046 до 0,357% износ гильз цилиндров возрастает в 2,5—3 раза.

Для надежной и долговечной работы двигателя качество жидкости, применяемой для его охлаждения, имеет не меньшее значение, чем качество масла и топлива. Для охлаждения необходимо применять «мягкую» воду (дождевую или снеговую), дающую незначительное количество отложений (накипи) в системе охлаждения. Наличие накипи ухудшает отвод тепла от стенок цилиндров, приводит к перегреву деталей двигателя. Жесткую воду (колодезную или ключевую) необходимо смягчать. В зимнее время для охлаждения рекомендуется использовать этиленгликолевую смесь по ГОСТ 159—52 и другие жидкости (антифризы), замерзающие при низкой температуре.

Уже было отмечено, что одним из основных условий долговечной и надежной работы двигателя являются стабильность и надлежащий уровень теплового режима. Нормальный температурный режим двигателя имеет место при температуре охлаждающей жид-

кости 85—95°C. При температуре охлаждающей жидкости ниже 75°C увеличивается коррозионный износ деталей двигателя. Одновременно при низких температурах из-за большой вязкости масла возрастают потери на трение и снижается экономичность двигателя, а также происходит конденсация паров топлива, в результате чего смывается масло со стенок цилиндров и повышается износ деталей.

При перегреве двигателя снижается вязкость масла, что ухудшает условия смазки, повышается нагрев деталей, что вызывает быстрое окисление масла, выпадение различных осадков, которые, попадая в кольцевые канавки, приводят к залеганию колец.

Перегрев двигателя способствует также чрезмерному расширению деталей, уменьшению зазоров в соединениях и повышенному трению.

Долговечность и надежность работы двигателя и его экономичность зависят от режимов (нагрузки и числа оборотов), на которых большую часть времени работает двигатель.

Дорожные условия также влияют на долговечность двигателя. Повышенный износ деталей двигателя при работе на дорогах с плохим покрытием определяется переменным режимом его работы, при котором изменяются условия смазки и тепловой режим, происходит разжижение смазки и другие явления.

Обороты автомобильного двигателя в зависимости от условий дороги могут изменяться на 1 км пути в довольно широких пределах — колебание достигает 30—40% от номинальных оборотов. Только за счет изменения режимов движения при работе на грунтовых дорогах в плохом состоянии срок службы двигателя до первого капитального ремонта снижается в среднем на 30—40%.

Важное значение для нормальной работы двигателя имеет своевременный переход на зимние условия работы. В зимний период возникает необходимость понижения температурного режима двигателя, что неизбежно ведет к ускоренному коррозионному износу деталей. Подготовка двигателей к зимней эксплуатации проводится при выполнении очередного технического обслуживания. Такая подготовка включает следующие основные работы: проверяют исправность термостата и регулируют его; проверяют исправности жалюзи, пробок радиатора и подогревателя; производят переход на зимнее топливо и зимнюю смазку; перекрывают кран «зима—лето» в системе смазки; для удержания тепла в холодное время готовят утеплительные чехлы для одевания на капот двигателя; в систему охлаждения заливают антифризы и др.

Таким образом, для повышения качества двигателей необходимо улучшать техническое обслуживание двигателей в эксплуатации и особенно обеспечивать оптимальные режимы их работы. Факторы эксплуатации являются основным резервом увеличения надежности и долговечности двигателей.